

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

**Байдиков Денис Владимирович**

**Геофизические исследования на акватории бухты Дальняя (Финский залив) для  
инженерных изысканий портовых сооружений**

Выпускная квалификационная работа бакалавра

«К ЗАЩИТЕ»

Научный руководитель:

профессор, д. геол.-мин. н. К.В. Титов

\_\_\_\_\_  
«\_\_»\_\_\_\_\_ 2016

Заведующий кафедрой:

профессор, д. геол.-мин. н. К.В. Титов

\_\_\_\_\_  
«\_\_»\_\_\_\_\_ 2016

Санкт-Петербург

2016

## Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. Физико-географический очерк .....	5
2. Очерк геологического строения района бухты Дальняя .....	8
2.2. Тектоника.....	15
2.3. Интрузивные и метаморфические образования.....	20
2.4. История геологического развития.....	23
2.5. Полезные ископаемые .....	26
3. Методика полевых работ.....	30
3.1. Магниторазведка.....	30
3.2. Электроразведка.....	34
3.3. Сейсморазведка.....	37
4. Методика обработки данных.....	41
4.2. Электроразведка.....	43
4.3. Сейсморазведка.....	45
5. Результаты работ.....	47
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	54
ЛИТЕРАТУРА .....	55
ПРИЛОЖЕНИЯ .....	56

## **ВВЕДЕНИЕ**

Инженерные изыскания на акватории являются обязательной частью проектных работ, которая должна быть выполнена вне зависимости от размеров и значимости объекта строительства.

В последние годы крупные морские инженерные изыскания были проведены в различных портах, таких как Усть-Луга, Мурманск, Темрюк, Вистино и другие.

Эти работы являются важным этапом любого капитального строительства гидротехнических сооружений. На ранней стадии проектирования объекта выполняются инженерно-геологические и инженерные геодезические исследования. На основе полученных материалов проводится разработка проектных документов, которые необходимы для создания основной рабочей документации и непосредственного строительства зданий.

Инженерно-геологические работы включают в себя изучение грунтов и основания сооружений, исследование гидрогеологического режима территории строительства, связанного с деятельностью подземных вод, а также физико-геологических особенностей пород и явлений, имеющих место на участке проведения работ. К последнему виду работ относят геофизические исследования.

Основная цель геофизических работ на акватории - уточнение геологического разреза и выявление факторов, осложняющих условия строительства портовых сооружений. Такими факторами являются наличие различных объектов на дне (металлический мусор, валуны и пр.), локальные неоднородности границы фундамента и литологические особенности верхней части разреза.

В большинстве случаев нет точной информации о геологическом строении исследуемых участков. Именно поэтому используется целый комплекс геофизических методов для решения поставленных задач. Этот комплекс может включать в себя: магниторазведку, электроразведку, сейсморазведку, гидролокацию бокового обзора и другие виды исследований.

Таким образом, основными задачами данной бакалаврской работы являются:

- освоение различных методик проведения полевых работ, а также аппаратурно-методических комплексов;
- изучение методов обработки геофизических данных;
- анализ полученных материалов и их интерпретация.

В основу данной бакалаврской работы были положены материалы и результаты геофизических исследований, полученных ООО «ГеофизПоиск» на акватории бухты

Дальняя (Финский залив). Автор принял участие в полевых работах, а также в обработке и интерпретации данных.

## 1. Физико-географический очерк

Участок работ располагается в Выборгском районе Ленинградской области в 2,5 км к югу от поселка Большой Бор в районе бухты Дальняя. В 17,5 км находится русско-финская граница. Ближайший крупный населенный пункт - поселок Кондратьево (рис. 1).

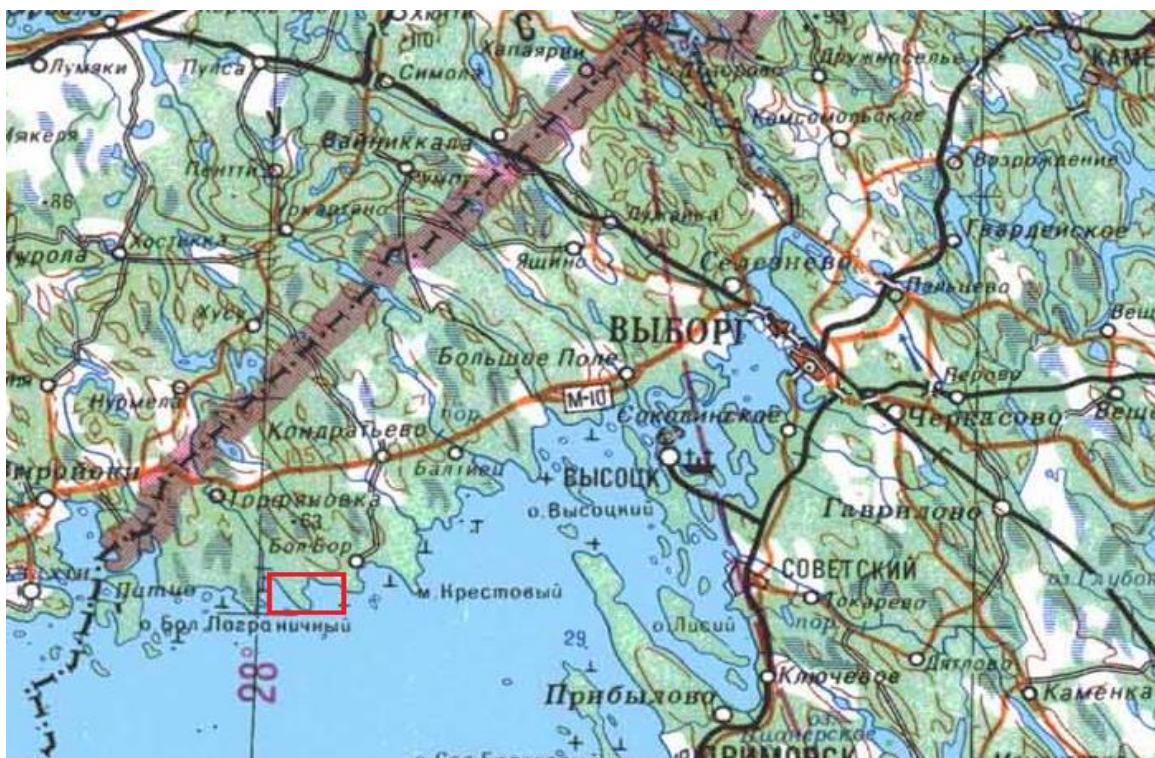


Рис. 1. Фрагмент топографической карты Петрозаводск-Хельсинки 1:1000000.

Красным прямоугольником отмечен участок работ.

Большая часть района занята Финским заливом. Остальная часть находится в пределах Приморской равнины, которая входит в Балтийско-Ладожский ландшафтный округ, где максимальные высоты составляют 63-79 м. По побережью встречаются высотные отметки, достигающие 20 - 43 м. Берега Финского залива в северной части обычно скальные, изрезаны, есть много островов, полуостровов и прибрежных озер, вытянутых в северо-западном направлении. Характерными ледниковыми формами рельефа являются «бараньи лбы».

Климат района мягкий, морской. Среднегодовая температура составляет +3,8 С° (г. Выборг). Наиболее низкие среднемесячные температуры (от -8 до -12 С°) приходятся на январь и февраль, а наиболее высокие (от +16 до +20 С°) приходятся на июль. Среднегодовые осадки составляют 613 - 674 мм и выпадают в основном в виде

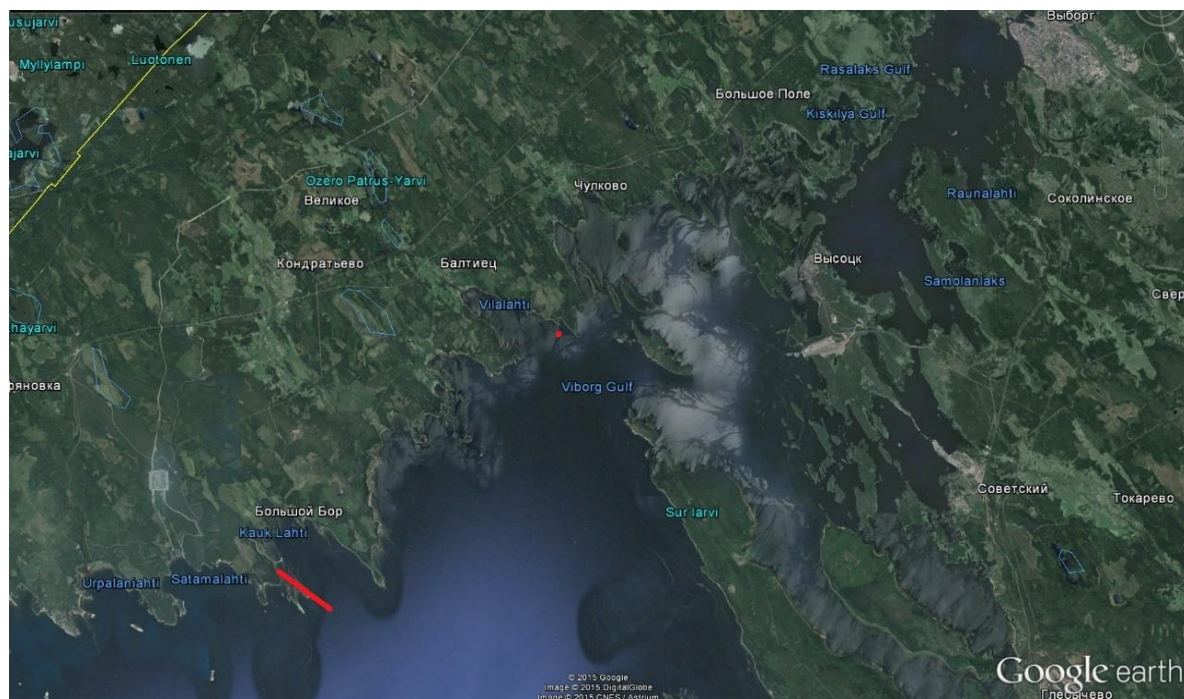
дождя. Первые заморозки начинаются во второй-третьей декадах октября, а последние - в третьей декаде мая. Осадки (250 мм) превышают испарение. Снежный покров держится с декабря до второй декады апреля. Ветры преобладают западные и юго-западные, со средней скоростью 3,7 м/с.

На территории района преобладают подзолистые почвы, основными почвообразующими породами являются пески и супеси. Из представителей животного мира встречаются лоси, белки, зайцы, а также много различной рыбы и птиц.

Территория экономически освоена. Поселки Приморск, Советский, Высоцк, Черкасово связаны с г. Выборг железной дорогой и автомагистралью. По северному побережью Финского залива проходит автотрасса Выборг-Торфяновка, связывающая Россию со Скандинавией. Население сосредоточено в поселках, в основном вдоль транспортных магистралей. В посёлке Советский находится Выборгский целлюлозно-бумажный комбинат, на котором работает 2,5 тыс. человек; в Приморске расположен рыбный завод; в районе пос. Ермилово начинается строительство крупного порта.

Сельское хозяйство развито слабо. Значительная часть населения занята в горной промышленности. Крупное эксплуатируемое месторождение строительных материалов находится в поселке Гаврилово, неподалеку от железной дороги. В районе пос. Ермилово разрабатывается мелкое месторождение строительного камня. Месторождение песка эксплуатируется в акватории Финского залива. Они протягиваются полосой по прибрежным банкам от о. Бол. Березовый на юго-восток. Значительная часть населения занята в транспорте. В последние десятилетия развивается дачное хозяйство. Кроме того, Выборгский район обладает чрезвычайно высоким потенциалом для развития туризма (в среднем в год район посещает около 700 тысяч туристов). Не смотря на интенсивный транспортный поток и присутствие промышленных предприятий, эколого-геологическая обстановка в целом благоприятная (Афанасов М.Н., 2002).

Особое место в данный момент занимает строительство в регионе газопровода «Северный поток» - нового маршрута экспорта российского газа в Европу, который соединит балтийское побережье России под Выборгом с балтийским берегом Германии в районе Грайфсвальда. Протяженность газопровода составит 1224 км. Кроме того, здесь планируется строительство нескольких приемных терминалов. Инженерно-геофизическим изысканием при строительстве одного из них, в районе бухты Дальняя, посвящена данная работа (рис. 2).



*Рис.2. Космоснимок района работ (Google Earth Pro). Красной линией отмечено положение будущего приемного терминала.*



## 2. Очерк геологического строения района бухты Дальняя

### 2.1. Стратиграфия

На территории Карельского перешейка расположены образования карелия, рифея, венда и четвертичного периода (рис. 3). Породы карелия и рифея представлены магматическими и метаморфическими нестратифицированными породами, слагающими кристаллический фундамент.

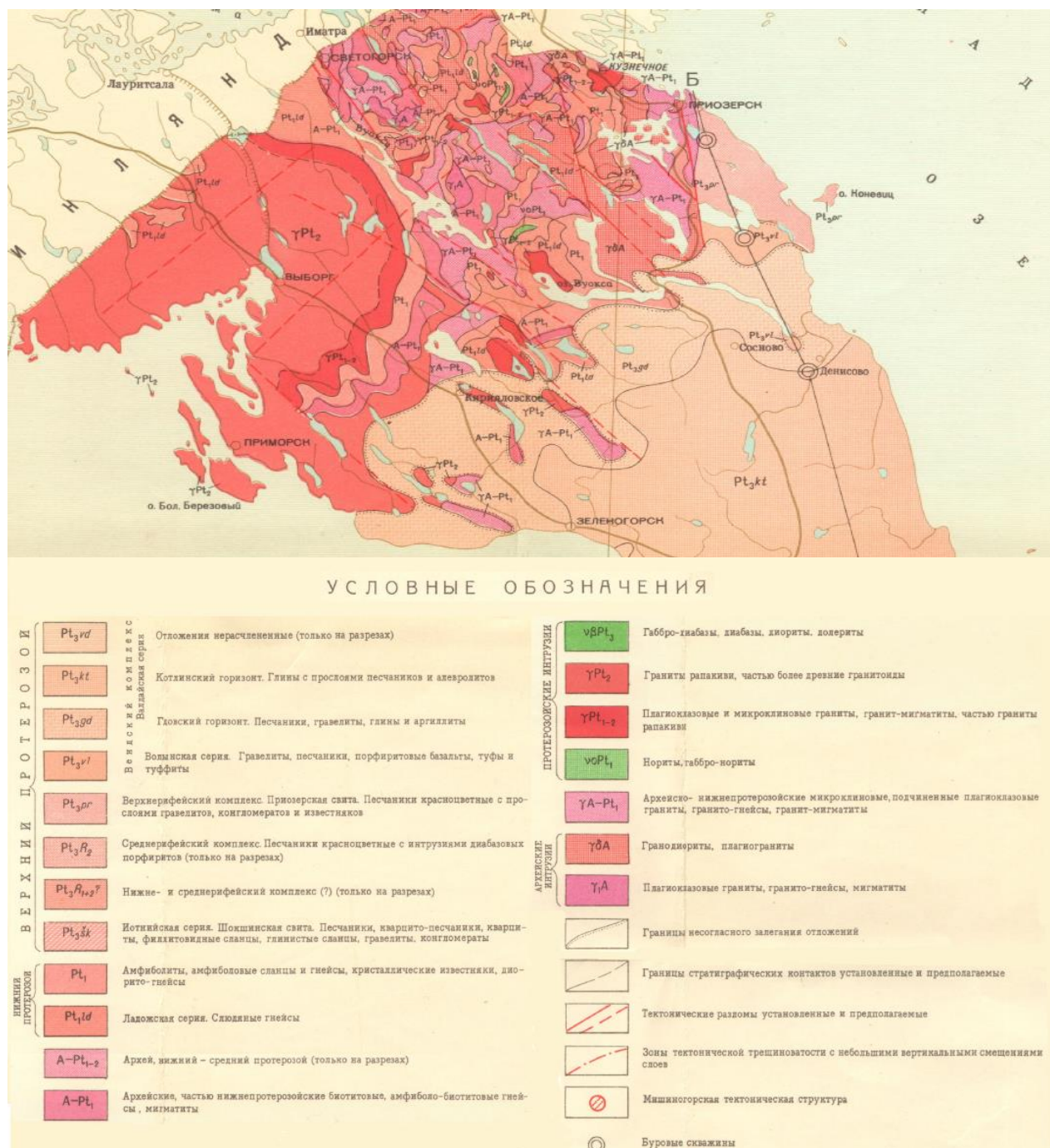


Рис. 3. Фрагмент геологической карты дочетвертичных отложений Ленинградской области (по Сидоренко А. В., и др., 1971).



## **Вендская система**

### **Верхний отдел**

#### **Валдайский комплекс**

Валдайский комплекс представлен исключительно терригенными породами, образующими сложно построенный трансгрессивный цикл, представленный редкинским горизонтом старорусской свиты и котлинской горизонтом василеостровской свиты (нижней частью) (Афанасов М.Н., 2002).

На суше породы комплекса распространены крайне ограниченно в виде эрозионных останцов, в которых сохранились образования низов старорусской свиты, вскрытые несколькими гидрогеологическими скважинами. Более широко и в более полном объеме валдайский комплекс развит в акватории Финского залива.

#### **Старорусская свита**

Свита на суше вскрыта рядом скважин в районе озера Пионерское на площади около 8 км<sup>2</sup>. Большая часть свиты находится в акватории Финского залива.

Мощность старорусской свиты изменяется от 31 м на юго-западе до 41 м на юго-востоке листа Р-35-XXXV. Свита перекрыта породами котлинского горизонта. Нижняя граница старорусской свиты резко несогласная, верхняя - четкая с признаками размыва.

В составе свиты преобладают песчаники, алевролиты и глины, образующие два седиментационных ритма. Ритмичность строения разреза свиты выражается закономерным расположением четырех основных пачек: нижней песчаной, глинисто-алевролитовой, верхней песчаной и алевролитово-глинистой. На площади в скважинах вскрыты только низы нижней песчаной пачки на мощность до 8 м. Свита залегает на выветрелых породах протерозойского фундамента. Песчаники - серые и зеленовато-серые, с буроватым оттенком, плотно сцементированные, тонкослоистые. На отдельных интервалах - косослоистые. В составе обломочного материала преобладают зерна кварца и полевых шпатов, частично разложившихся; редко встречаются обломки кварцита и кремнистых пород. Цемент глинистый и кварцевый регенерационный с примесью гидроокислов железа. Степень окатанности зерен - различная: от слабоокатанных мелких, до хорошо окатанных более крупных (Вербицкий В. Р., и др., 2012).

## **Котлинский горизонт**

### **Василеостровская свита**

#### **Нижняя подсвита**

Породы подсвиты выходят на дочетвертичный эрозионный срез в акватории Финского залива и повсеместно перекрыты четвертичными отложениями. Верхняя граница свиты - эрозионная, ее максимальная видимая мощность составляет 20 м.

Данный подкомплекс с перерывом залегает на старорусской свите. Внизу он сложен песчаной пачкой, сверху уплотненными тонкослоистыми и зеленовато-серыми глинами. Песчаники в основании среднезернистые, сверху мелкозернистые полевошпатово-кварцевые, глинистые. Глины алевроитовые с ламинаритовыми пленками. В западных районах подсвита отличается более грубым песчаным материалом, большим содержанием полевых шпатов, появлением каолинита и большей красноцветностью пород (Вербицкий В. Р., и др., 2012).

#### **Четвертичные отложения**

Четвертичные отложения практически полностью покрывают территорию, только на севере наблюдаются выходы дочетвертичных образований, большей частью представляющие собой верхние части сельговых гряд. Мощность четвертичных отложений весьма неравномерна - от первых метров на северо-западе до 90 м. в пределах ледниковых и водно-ледниковых аккумулятивных возвышенностей, в акватории и в погребенных эрозионных врезх в южной части района. Выделяются отложения осташковской ледниковой эпохи и голоцена (рис. 4), характеристика которых представлена ниже.

### **Неоплейстоцен**

#### **Среднее звено**

#### **Среднерусский надгоризонт**

Образования среднерусского надгоризонта представлены днепровским и московским горизонтами. На поверхность эти образования не выходят и по площади распространены спорадически. В пределах акватории днепровско-московские отложения приурочены к впадинам в дочетвертичном рельефе (Афанасов М.Н., 2002).



### **Днепровский горизонт**

Ледниково-озерные отложения днепровского горизонта приурочены к пониженным частям дочетвертичной поверхности и вскрыты скважинами на глубинах от 40 до 86 м. Их мощность изменяется от 1,5 до 19 м. Эти образования залегают непосредственно на кристаллических породах нижнего протерозоя и перекрыты ледниковыми отложениями московского горизонта.

Ледниково-озерные образования представлены толщей серых и светло-серых кварц-полевошпатовых песков от мелко- до крупнозернистых, с примесью гравия и гальки кристаллических пород. Местами встречаются прослои темно-серых и коричневых глин, пластичных, местами слоистых, мощностью до 3 м (Малаховский Д.Б., Марков К.К., 1969).

### **Московский горизонт**

Ледниковые отложения московского горизонта отсутствуют на севере и на западе изучаемой территории вследствие их размыва и экзарации. На поверхность эти отложения не выходят, но вскрыты скважинами на глубине от 14,5 до 65,4 м.

Залегают московская морена на дочетвертичных породах и на ледниково-озерных отложениях днепровского горизонта и перекрыта водно-ледниковыми отложениями карельских ледниковых слоев.

Ледниковые московские отложения выражены грубыми плотными валунными суглинками и супесями серовато-коричневого или темно-серого цвета. В морене присутствует до 40% гравия, гальки и валунов гранитов и гнейсов, иногда встречаются обломки песчаников верхнего венда.

Позднеледниковые московские отложения входят в состав сложно построенной, литологически весьма неоднородной межморенной толщи водных осадков мощностью до 35-56 м.

Флювиогляциальные отложения московского горизонта, как и ледниковые, на поверхности не наблюдаются. Максимальная мощность составляет 25 м. Отложения - разнозернистые, преимущественно грубозернистые с содержанием гравия, гальки и валунов гнейсов и гранитов до 50%. Преобладает хорошо окатанная галька.

Ледниково-озерные отложения залегают на московской морене, и их мощность колеблется от 3,5 до 14,4 м. Отложения представлены суглинками и глинами. Суглинки темно-серые, иногда с прослоями светло-серой супеси. Слоистость преимущественно горизонтальная, участками перемятая. Глины темно-коричневые, пластичные,

тонкослоистые, слоистость преимущественно горизонтальная, в отдельных пачках перемятая и наклонная (Малаховский Д.Б., Марков К.К., 1969).

### **Верхнее звено**

#### **Микулинский горизонт**

Морские отложения Микулинского горизонта распространены в восточной части территории. На поверхности они не обнажаются, но вскрыты рядом скважин, и их мощность достигает 9,7 м. Они представлены глинами и темно-серыми суглинками. Местами наблюдается включения ярко-синего вивианита и глинистые примазки. Иногда встречаются включения гравия, гальки, валунов и кристаллических пород различной окатанности (Афанасов М.Н., 2002).

#### **Валдайский надгоризонт**

#### **Подпорожский горизонт**

Ледниково-озерные отложения подпорожского горизонта входят в состав межморенной толщи и представляют собой осадки начального наступления карельского ледника, являясь в рассматриваемом районе единственными образованиями его ранней стадии. Залегают они на московских ледниково-озерных отложениях и перекрываются карельской мореной. Мощность достигает 25 м. Отложения представлены песками и суглинками. Пески - серые, разномзернистые, слабо глинистые, кварц-полевошпатового состава с небольшим количеством грубообломочного материала. Суглинки - темно-серые, пылеватые, тонкослоистые, нередко с нарушенной слоистостью (Вербицкий В. Р., и др., 2012).

#### **Осташковский горизонт**

Карельские ледниковые отложения широко развиты почти на всей территории. На поверхности они образуют преимущественно положительные формы рельефа, где нередко оконтуривают выходы дочетвертичных пород. Морена выстилает дно ложбин и долин. Здесь она перекрыта более молодыми, преимущественно водными осадками или торфяниками. Карельские ледниковые отложения залегают на кристаллических породах фундамента, а также на отложениях днепровского и микулинского горизонтов. Максимальная мощность этих отложений достигает 28,4 м (Афанасов М.Н., 2002).



На акватории моренные отложения распространены практически в пределах всей ее площади. Мощность этих отложений колеблется от 0 до 55-65 м. Наибольшие мощности этих отложений отмечаются на Березовых островах. На поверхности морского дна морская морена обнажена преимущественно в пределах прибрежного мелководья и на локальных возвышенностях. В этих местах она в значительной степени размыта.

Моренные отложения на акватории в основном представлены песчаными глинами и глинистыми песками коричневатого цвета, насыщенными многочисленными обломками кристаллических пород - гравием, галькой и валунами. Гранулометрический состав морены крайне неоднороден. Сортировка отложений - плохая. В составе обломков преобладают граниты-рапакиви, характерно наличие валунов уплощенной формы с ледниковой штриховкой (Малаховский Д.Б., Марков К.К., 1969).

### **Голоцен**

Голоценовые отложения на рассматриваемой территории распространены повсеместно. Их мощность не превышает нескольких метров, но иногда достигает 20-25 м.

В акватории Финского залива голоценовые образования представлены, в основном морскими и озерными отложениями, связанными со стадийным развитием постледниковой Балтики. В голоцене выделяются отложения нижней, средней и верхней частей.

Озерные отложения раннего голоцена распространены ограниченно, обычно они перекрывают озерно-ледниковые отложения. Их мощность составляет 1-5 метров.

Морские отложения среднего голоцена являются остатками литоринового моря. Они развиты на значительной площади в северо-западной части акватории. Мощность их не превышает 4 м. Отложения представлены главным образом темно-серыми пелитами и алевро-пелитами, с большим содержанием органического вещества. Часто в этих отложениях присутствуют линзы, прослои и скопления алевролита и включения растительного детрита.

К морским отложениям позднего голоцена относятся отложения, образующие пляж и нижнюю террасу Балтийского моря. Мощность этих отложений варьирует от 0,6 до 1,5 м. Преобладают крупнозернистые, кварц-полевошпатовые пески, участками слабоглинистые с гравием, галькой и единичными валунами. Местами вдоль уреза

воды в заливе прослеживается галечник. Иногда прибрежная полоса сплошь сложена валунами различных размеров - до 2-3 м по длинной оси. Поверхность валунов хорошо отшлифована, преобладают граниты рапакиви и гнейсы (Афанасов М.Н., 2002).

К морским лимниевым отложениям относятся песчаные образования волнового генезиса современных прибрежных зон. Они развиты на глубинах 0-15 м. и протягиваются вдоль побережий залива.

## **2.2. Тектоника**

Северо-восточная часть Карельского перешейка представляет собой западный фланг Пашско-Ладожского рифтового сегмента Ладожско-Ботнической зоны (рис. 5). Характер гравитационного и магнитных полей свидетельствует о мощно проявленном протерозойском магматизме в пределах этой зоны. На картах гравитационного поля, Ладожско-Ботническая зона в целом характеризуется контрастной положительной аномалией, свидетельствующей о высокой основности земной коры. На схемах трёхмерных плотностных моделей Ладожско-Ботническая зона выделяется как область максимальной (до 62 км) мощности земной коры (Гарбар Д.И. Кабаков Л.Г., 1994).

В Ладожско-Ботнической зоне линейные коровые электрические проводники в большинстве случаев связаны с обогащением зон глубинных разломов сульфидами и графитом, видимо имеющим мантийное происхождение. В рассматриваемом регионе возникновение таких зон характерно для геодинамических обстановок субдукции и коллизии. С запада площадь развития коровых электрических проводников, как индикаторов активных геодинамических процессов, характерных в прошлом для Ладожско-Ботнической зоны, ограничена северо-западным глубинным разломом Каменногорск-Агалатово; с юга - Вуоксинской сдвиговой зоной широтного простирания, выраженной в гравитационном поле. Судя по характеру потенциальных полей, эта сдвиговая структура трассируется в широтном направлении через акватории Ладожского озера и образует вместе с Олонецкой широтной зоной разломов единую Вуоксинско-Олонецкую систему. Пересечение в центре Ладожского озера Вуоксинско-Олонецкой широтной системы нарушений с северо-западной Салми-Денисовской системой разломов, формирующих Ладожскую грабенообразную структуру, образует структурный клин, в пределах которого кристаллический фундамент погружается на глубину до 3 км. На западном берегу Ладожского озера разломы Вуоксинско-Олонецкой системы ограничивают рифейские блоки. Все это позволяет рассматривать эти поперечные разломы как зону повышенной проницаемости земной коры (рис. 6).

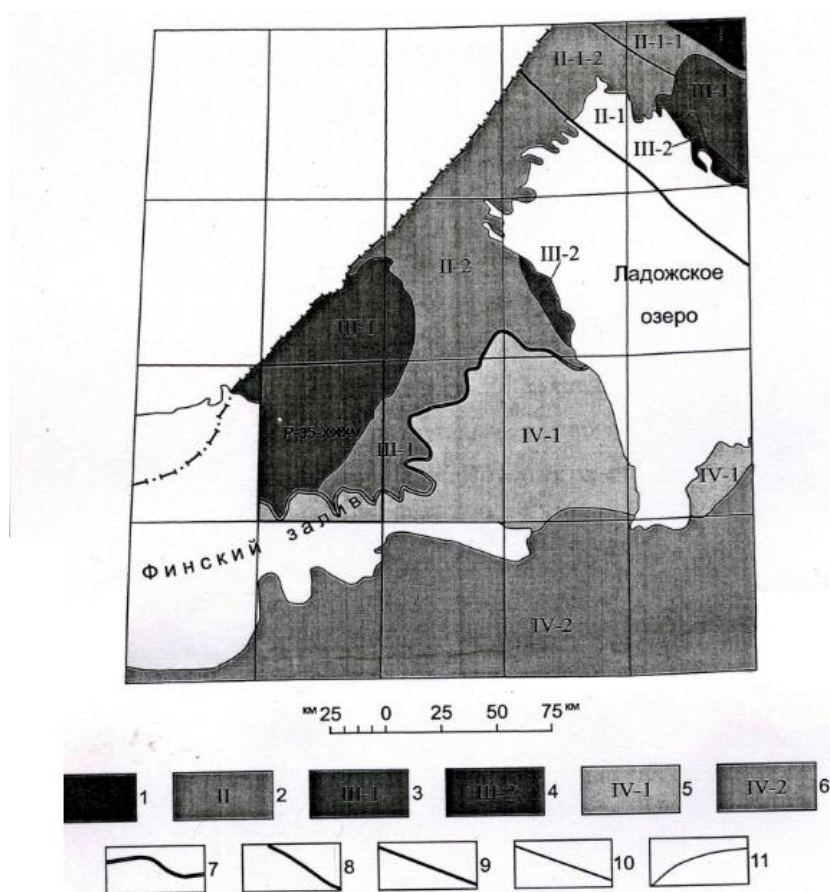


Рис. 5. Обзорная схема тектонического районирования Карельского перешейка (по Афанасову М.Н., 2002).

I, II, III - Нижний структурный этаж (Фенноскандинавский щит и рифейские грабенообразные прогибы). I, II - Нижний ярус (структура раннего протерозоя): 1 - Карельская область; 2 - Свекофеннская область: II-1 - Северо-Ладужская структурно-формационная зона (СФЗ): II-1-1 - Янисъярвинская подзона, II-1-2 - Питкярантско-Рускеальская подзона; II-2 - Лахденпохско-Выборгская СФЗ. III - Верхний ярус (структуры позднего протерозоя): 3 - Рифейские гранитные массивы выборгского комплекса; 4 - Рифейский грабенообразный прогиб. IV - Верхний структурный этаж (Русская плита): 5 - верхний венд; 6 - фанерозой. Геологические границы: 7 - Фенноскандинавского щита и Русской плиты; 8 - Карельской и Свекофеннской областей; 9 - СФЗ; 10 - СФЗ подзон; 11 - гранитных массивов и структурных ярусов.

Активная в протерозое, западная часть Ладужско-Ботнической зоны смещается на восток в акваторию Ладужского озера. В результате этого юго-западная часть Карельского перешейка является более стабильной и, в металлогеническом отношении, - менее интересной, чем северо-восточная.

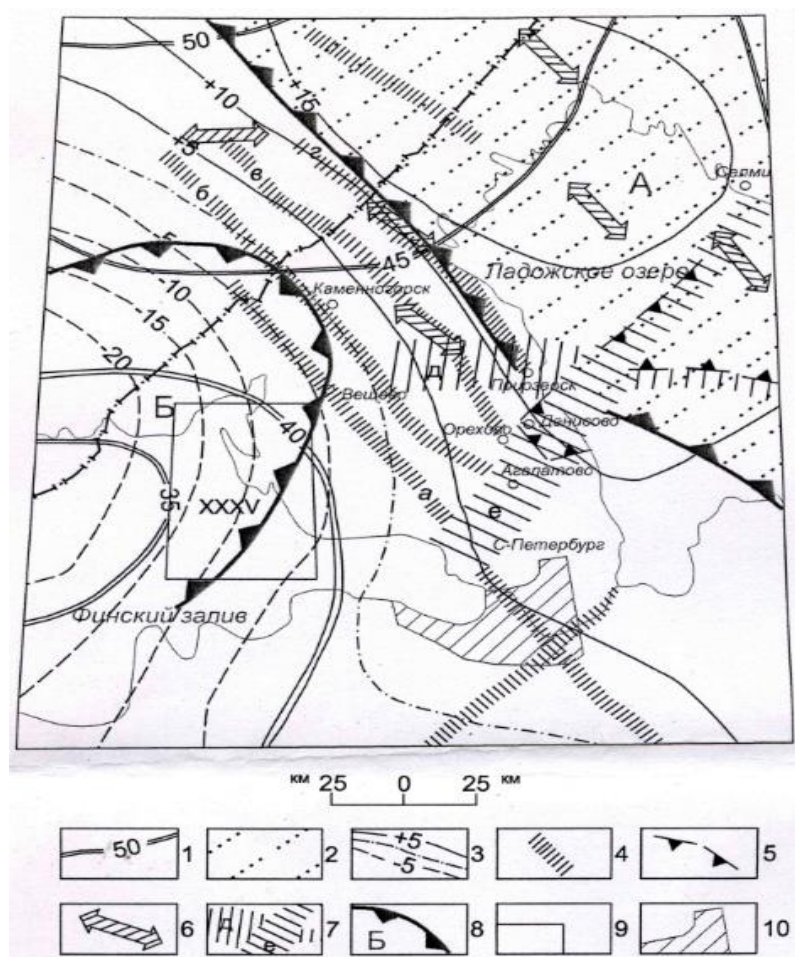


Рис. 6. Схема глубинного строения Карельского перешейка по геофизическим данным (по Афанасову М.Н., 2002).

1 - рельеф поверхности "М" (км); 2 - область с аномальной сейсмической моделью нижней части земной коры и зоны перехода кора - мантия; 3 - изолинии аномального гравитационного поля осредненного с радиусом 80 км (мГл); 4 - зоны глубинных разломов: а - Вещево - Санкт-Петербург - Чудово; б - Светогорск - Каменногорск - Агалатово; в - Бородинское - Орехово; г - Куркиёки - Приозерск; 5 - поперечные разломы Паиско-Ладужского рифтогенного сегмента Ладужско-Ботнической зоны; 6 - коровые электрические проводники; 7 - зоны разломов: д - Вуоксинско - Олонецкая; е - Салми - Денисово; 8 - структурогенерирующие глубинные центры: А - Ладужско-Ботнический; Б - Выборгский; 9 - граница листа Р-35-XXXV; 10 - территория г. Санкт-Петербурга.

По данным глубинного сейсмического зондирования, сейсмический разрез относится к нормальному типу, а коромантийная смесь отсутствует, что свидетельствует о спокойной геодинамической обстановке на завершающей стадии формирования структуры площади. С высокой вероятностью этот вывод можно

частично распространить на юго-запад Карельского перешейка. Большая часть этой территории характеризуется уменьшением мощности консолидированной земной коры по разным оценкам до 40-44 км, появлением в нижней части коры коромантийной смеси, свидетельствующей о повышенной геодинамической активности в геологическом прошлом.

Гранитный слой региона характеризуется блоковым строением его верхнего этажа и высокой степенью рассеянности по вертикали. Мощность “гранитного” слоя повсеместно составляет 20 км. По комплексу геолого-геофизических данных территория Карельского перешейка представляет собой совокупность блоков, различающихся по вещественному составу, интегральным плотностным характеристикам и специфическим чертам разрывной тектоники. Площадь блоков составляет 50-60 км<sup>2</sup>. Таким образом, выделяется ряд блоков, для каждого из которых характерна своя структура. Границы блоков, как правило, характеризуются резкой сменой структурных планов (Афанасов М.Н., 2002).

Анализ геолого-геофизических данных свидетельствует о четко выраженной по латерали зональности глубинного строения территории в широтном направлении, обусловленной спецификой геодинамических режимов формирования консолидированной земной коры.

Выделяются два структурных этажа. Нижний представлен кристаллическим фундаментом, верхний - платформенным чехлом.

Кристаллический фундамент сложен гнейсами лахденпохского метаморфического комплекса, свекофенскими интрузиями и раннерифейскими гранитами анортозит-рапакивигранитной формации. По магниторазведочным данным и редким скважинам гнейсы простираются в субширотном направлении и имеют крутое падение. Среди гнейсового комплекса по данным магниторазведки выделяются тела амфиболитов. Участок в центральной части листа между двумя сплошными выходами гранитов рапакиви (выборгитов) следует рассматривать, судя по магнитному полю, как площадь близповерхностного залегания магнитоактивных пород подошвы гранитов рапакиви (породы первой фазы Выборгского массива и вмещающие их гнейсы).

Инъективные нарушения структуры гнейсового комплекса возникли с появлением складчатых интрузий приозерского комплекса и позднескладчатых гранитов кузнечного комплекса. Тела этих интрузивов частично приспособлены к складчатым структурам гнейсов. Но наиболее ярко инъективные нарушения проявлены в связи с внедрением раннерифейских анорогенных интрузий Выборгского массива и его сателлитов.



Разрывные структуры проявлены в магнитном поле линейными зонами нарушений корреляции значений напряженности или зонами локальных изменений интенсивности магнитного поля. Выделяются две группы разрывных нарушений. Первая проявлена в виде субширотных и северо-восточных зон. Это долгоживущие зоны древнего заложения. Некоторые разломы, связанные с этой группой, смещают верхневендский платформенный чехол. Другая группа принадлежит ортогональной системе разломов и диагональных к ним, представляющих регматическую решетку. Они проявлены избирательно относительно к геологическому субстрату. Ортогональные разломы редки и хорошо проявлены в магнитном поле. Они развиты на Выборгском массиве. Диагональные разломы представлены в основном трещинами северо-западного простирания. Они наблюдаются в кристаллическом фундаменте повсеместно и хорошо подчеркиваются формами современного рельефа и дочетвертичной поверхности (Петров О.В., Л. И. Красный, А. Ф. Морозов, 2006).

Чехол представлен двумя структурными ярусами: верхнебайкальским (верхневендским) и четвертичным. Граница чехла с кристаллическим фундаментом эрозионная.

Верхнебайкальский ярус, представлен структурой верхневендской песчано-глинистой формации. Общее падение яруса происходит в юго-восточном направлении. Мощность верхнебайкальского яруса меняется от 0 до 60 м. Стратиграфический перерыв на границе старорусской и василеостровской свит верхнего венда не нарушает структурной целостности яруса.

Положительные неотектонические движения в регионе в целом проявлены незначительно. В среднем изучаемая территория, как и большая часть Карельского перешейка, в неоген-четвертичное время оставалась стабильной, что отразилось на низменном характере рельефа и лишь в голоцене начались поднятия. Современные движения характеризуются очень слабым поднятием северной части перешейка и опусканием южной.

Локальные неотектонические структуры проявлены в глинах и суглинках межморенной толщи водных осадков, в которых нередко наблюдаются чередование нормальной горизонтальной слоистости со слоистостью, перемятой в наклонную, вплоть до вертикальной (Гарбар Д.И. Кабаков Л.Г., 1994).

### 2.3. Интрузивные и метаморфические образования

Эти образования слагают кристаллический фундамент платформы и, кроме самой северной части территории, перекрыты породами верхнего венда и четвертичными отложениями мощностью в десятки метров (рис. 7). В данной работе основное внимание уделено строению Выборгского плутона, так как породами именно этого комплекса представлен кристаллический фундамент в районе проведения работ.

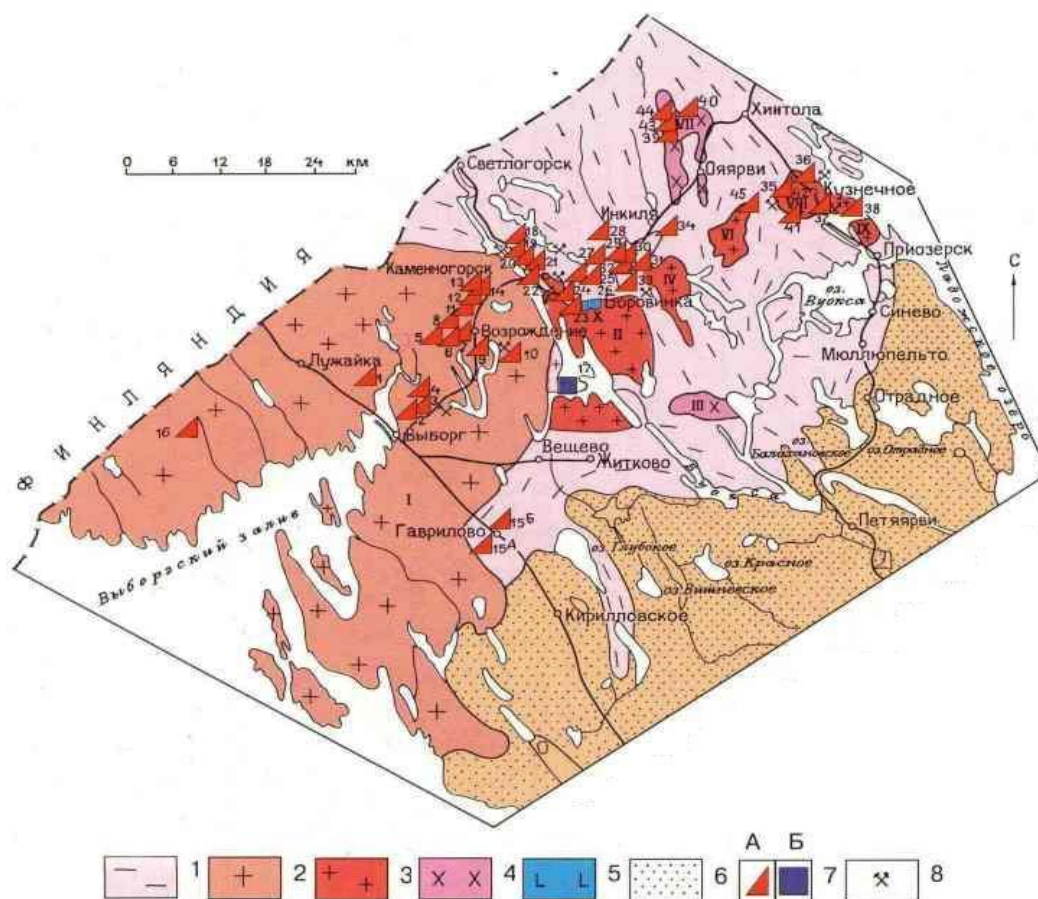


Рис. 7. Карта изверженных и метаморфических пород Карельского перешейка (по материалам [geoecology.nethouse.ru](http://geoecology.nethouse.ru)).

1 - биотитовые гнейсы, 2 - граниты рапакиви, 3 биотитовые граниты, порфировидные и трахитоидные граниты и гранодиориты, 4 - диориты, гранодиориты, 5 - габбро, габбро-диабазы, диориты, 6 - алевриты, аргиллиты, песчаники, 8 - месторождения: 7а - гранитоиды, гнейсы, габбро, 7б - известняки, 8 - месторождение разрабатывается.

I-X - массивы: I - Выборгский, II - Красносокольский, III - Вуоксинский, IV - Бородинский, V - Каменногорский, VI - Заветнинский, VII - Оярвинский, VIII - Каарлахтинский, IX - Приозерский, X - Островский.

## Раннерифейские плутонические образования

### Выборгский комплекс: анортозит-рапакивигранитовый

На изучаемой территории комплекс представлен южным окончанием крупного Выборгского массива. Большая часть массива находится в акватории Финского залива и перекрыта четверичными отложениями, а в южной ее части вендскими отложениями. Комплекс развит на площади 2470 км<sup>2</sup>. По геофизическим данным Выборгский массив имеет форму субгоризонтальной пластины мощностью до 3 км, по другим оценкам до 6 км. Контакт массива с вмещающими породами не обнажен. В выборгском комплексе выделяется четыре фазы. Все обнаженные части массива относятся ко второй, главной фазе и прорваны жилами аплитов и пегматитов (рис. 8).

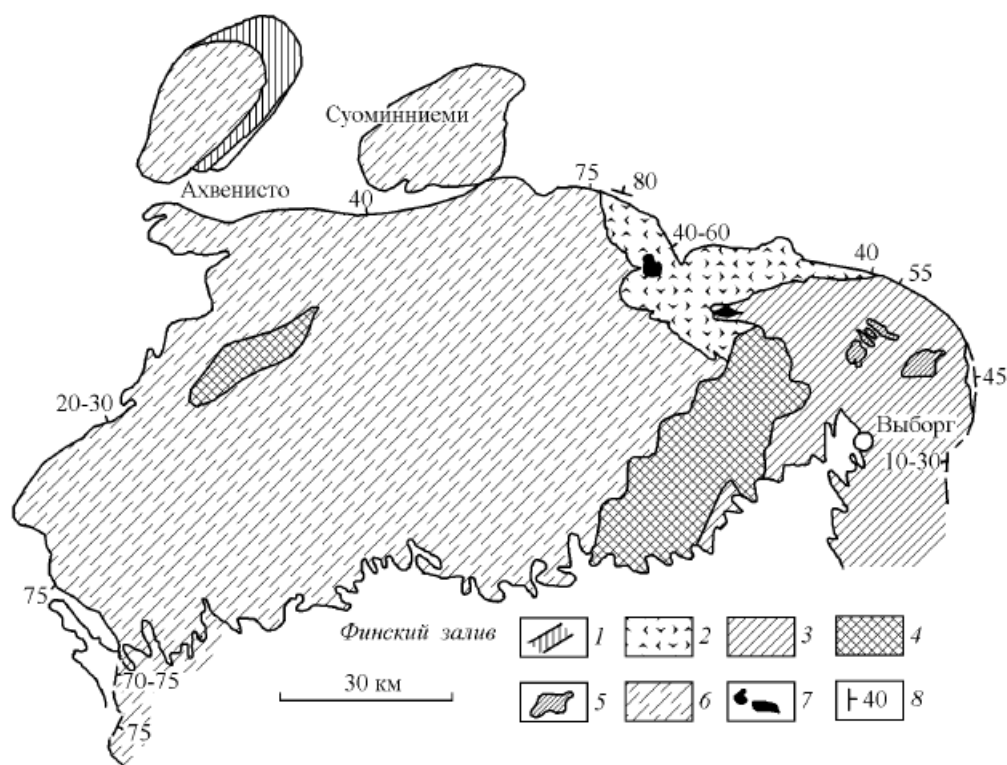


Рис. 8 Схема геологического строения Выборгского массива  
(по Великославинскому Д.А., и др., 1978).

1 - габбронорит-анортозиты массива Ахвенисто; 2 - «лаппе-граниты» (кварцевые сиениты); 3 - розовые овоидные рапакиви; 4 - серые трахитоидные и редкоовоидные рапакиви; 5 - нерасчлененные рапакиви (преимущественно овоидные); 6 - вулканиты хогландия; 7 - падение контактов.

Границы выборгского массива изучены по магниторазведочным данным. Поле ( $\Delta T$ ) над гранитами второй фазы характеризуются слабо дифференцированными

отрицательными (до -130 нТл) или небольшими положительными (до +70 нТл) значениями. В крайней северо-западной части территории поле ( $\Delta T$ ) в значительной степени дифференцировано. Здесь появляются положительные аномалии, что связано с не глубоко залегающими магнитоактивными массами первой фазы выборгского комплекса. В акватории залива условно выделены выходы пород первой фазы, они характеризуются резкими положительными полями 400-700 нТл (рис. 9).

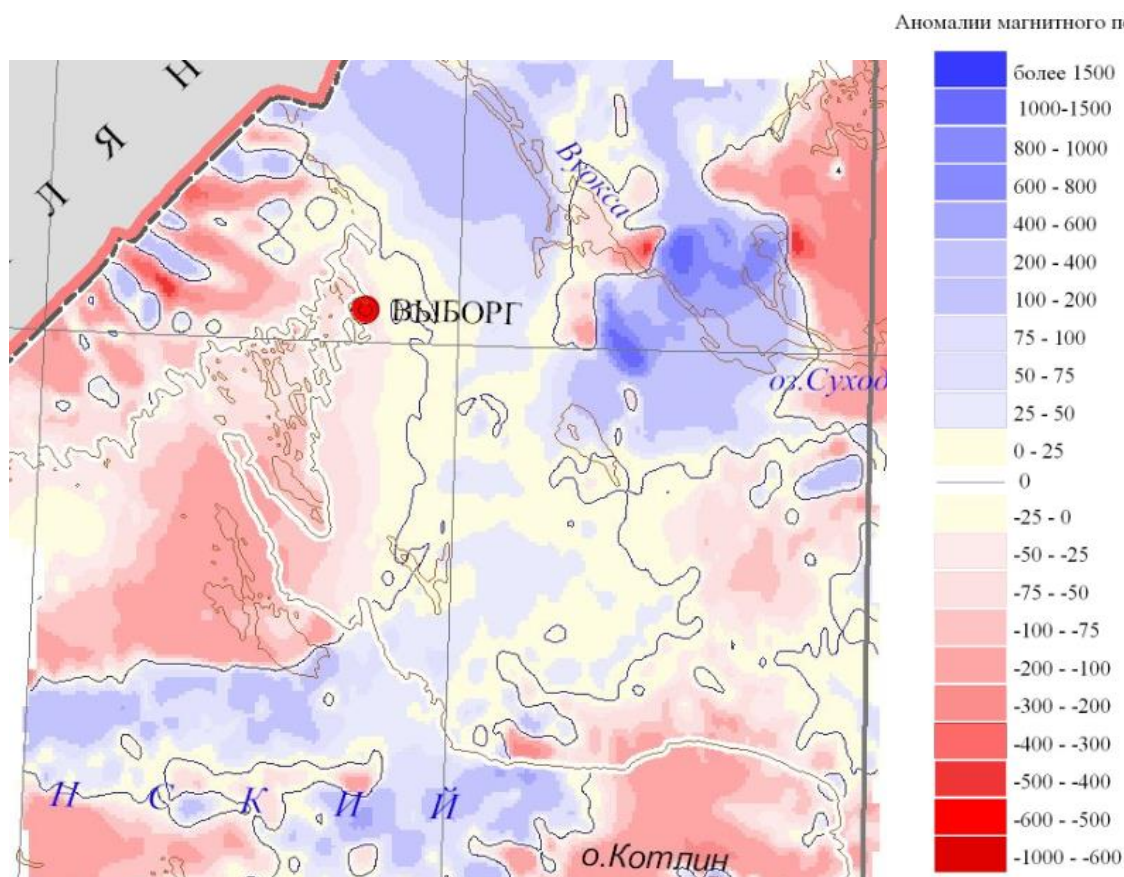


Рис. 9. Фрагмент карты аномального магнитного поля северо-западного федерального округа (по материалам [www.vsegei.com](http://www.vsegei.com)).

Граниты второй фазы слагают одинаковые по размеру тела различной конфигурации, без резких границ между собой и без определенной структурной приуроченности. Они, как правило, представлены среднезернистыми или крупнозернистыми, овоидальными породами. Встречаются также крупнозернистые граниты вообще без овоидов. Обычно граниты розовые, светло-розовые.

Петрографические особенности рапакиви - это наличие двух генераций калиевого полевого шпата (КПШ) и трех генераций плагиоклаза, присутствие дипирамидального и вогнутого снаружи кварца. Породы имеют массивную текстуру и обычно порфировидную (маргинационную) структуру, обусловленную включениями овоидов розового КПШ в оболочке серого плагиоклаза. Овоиды могут занимать до

половины объема породы. Размер овоидов достигает нескольких сантиметров. Основная масса между овоидами сложена среднезернистым гранитом, состоящим из зерен полевого шпата, дымчатого кварца, биотита и часто роговой обманки. Акцессорные минералы представлены рудным, апатитом и флюоритом. Формально химический состав второй фазы Выборгского массива соответствует щелочным гранитам с калиево-натриевым типом щелочности.

В последних исследованиях изотопного возраста Выборгский массив рассматривается как длительно (30 млн. лет) формировавшееся на рубеже карелия и рифея анорогенное тело (Великославинский Д.А., и др., 1978).

#### **2.4. История геологического развития**

На данной территории выделяются два этапа геологического развития: доплитный этап и плитный этап.

Доплитный этап характеризуется развитием структур в южной части Свекофеннской подвижной области. В людтковиин и калевии эта зона развивалась в режиме активной окраины архейского палеоконтинента, к западу от которого формировалась новая нижнепротерозойская континентальная кора, ныне представленная лахденпохским метаморфическим комплексом, сложенным в основном метаморфизованными аналогами раннепротерозойских турбидитов.

Далее следует переходный анорогенный протоплитный этап, который начинался раннерифейской стадией эндогенной активизации с появлением анортозит-рапакивигранитовой формации (Выборгский массив и др.).

Плитный этап развития характеризуется эпейрогеническими движениями. Образуется обширный эпиконтинентальный морской бассейн, в котором накапливались осадки, объединяемые в единый трансгрессивный цикл. Трансгрессия захватывает и описываемую территорию. Фациальный состав пород этого возраста характерен для мелководных бассейнов со спокойным гидродинамическим режимом. Трансгрессия носила пульсирующий характер, и в предкотлинское время был перерыв в осадконакоплении. В котлинское время образовались осадки, характерные для мелководных частей бассейна, но более удаленных от береговой линии, чем в редкинское время.

Судить о дальнейшей геологической истории можно только предположительно, привлекая материалы по смежным территориям. Морской режим накопления осадков на территории продолжался в раннем кембрии, после которого в результате



отступления моря преобладали процессы денудации. Возможно, площадь в дальнейшем была охвачена трансгрессией и в ордовике. Отложения ордовика и кембрия были постностью денудированны в четвертичное время.

Четвертичный период характеризуется общим сильным походом климата и последовательной сменой ледниковых отложений и межледниковых эпох. Каждый ледник значительно изменял поверхность и мощность нижележащих отложений. В результате экзарации почти полностью была уничтожена кора выветривания кристаллического фундамента и почти все ранние ледниковые четвертичные образования, значительно изменился рельеф.

На Карельском перешейке в течение всего четвертичного периода происходили гляциоизостатические движения. Каждая ледниковая эпоха сопровождалась опусканием блоков земной коры, а межледниковая поднятием. В течение последних 7 тыс. лет происходит быстрое поднятие Фенноскандинавского щита.

Геологические данные, отражающие развитие территории в нижнем плейстоцене, отсутствуют. Следы нижнечетвертичного ледника встречены значительно южнее описываемой территории. Начало среднего плейстоцена ознаменовалось значительным потеплением, повлекшим за собой формирование обширных морских бассейнов, в том числе и на территории Финского залива. Похолодание и наступление вологодского ледника привело к тому, что рассматриваемая территория вновь была покрыта льдом. Вследствие активной деятельности водноледниковых потоков, образовавшихся при последующем потеплении, отложения вологодского возраста были в значительной мере размыты и сохранились только в погребенных врезях. За водноледниковыми потоками последовало широкое развитие озерно-ледниковых бассейнов, на что указывает наличие соответствующих отложений.

Новое похолодание обусловило развитие московского оледенения, льды которого полностью заняли территорию.

Начало позднечетвертичного времени характеризуется крупным потеплением - микулинским межледниковьем. В это время описываемая территория являлась дном мгинского моря.

Новая волна похолодания, начавшаяся примерно 70 тыс. лет назад и обусловившая развитие валдайского оледенения, вновь изменила палеогеографическую обстановку в пределах описываемого района. Осадков этого времени, а также следов событий последующих 25 тыс. лет на данной площади не сохранилось, но отложения обширного водного бассейна озерного типа присутствуют западнее. Наступление Карельского ледника (примерно 24 тыс. лет назад) привело к образованию ледникового

покрова на всей описываемой площади. С деградацией последнего начался этап окончательного освобождения территории от ледникового покрова. Настоящее время начало этого этапа оценивается в 14 тыс. лет назад. В это время заметно усиливаются аккумулятивные рельефообразующие процессы - формируются моренные холмы и гряды, озы и камовые холмы. Затем началось новое похолодание, и экологические условия в данном бассейне сделались крайне неблагоприятными, на что указывает отсутствие диатомовой флоры в отложениях этого времени. При очередном потеплении, уровень воды в приледниковых бассейнах повышался и при слиянии нескольких бассейнов, образовалось балтийское ледниковое озеро, бассейн которого охватывал современную сушу и соединялся с Ладожским озером.

С валдайским оледенением (осташковским горизонтом) связаны месторождения песчано-гравийной смеси, песков и глин.

Начало голоцена совпало с резким падением уровня балтийского ледникового озера, что связано с соединением его с мировым океаном. Очертания водоема стали близки к очертаниям современного Финского залива. Размыв дна привел к подтоку солоноватых вод.

Снятие ледниковой нагрузки обусловило активизацию неотектонических движений. Около 9500 лет назад на территории возникло пресноводное озеро, которое вскоре обмелело. В начале среднего голоцена в атлантическое время (7100 лет назад) вследствие окончательного соединения Балтики с Мировым океаном, произошло новое затопление территории, получившее название литориновой трансгрессии. Около 4900 лет тому назад литориновое море сменилось современным Балтийским морем. Вследствие регрессии вдоль берега сформировалась терраса, являющаяся в настоящее время одним из главных источников подводной добычи строительных песков.

Повышение уровня южной Ладоги (ладожская трансгрессия, 2,9-2,5 тыс. л.н.), привело к размыву водораздела рек Тосны и Мги впадавших, соответственно в Финский залив и в Ладожское озеро. Образовалась река Нева и сток ладожских вод в Балтику через реки Карельского перешейка окончательно прекратился.

В настоящее время продолжается образование озерных, аллювиальных и морских террас, речная эрозия, накопление торфяников (Афанасов М.Н., 2002).

## 2.5. Полезные ископаемые

Далее представлена краткая характеристика основных полезных ископаемых на изучаемой территории (рис. 10).

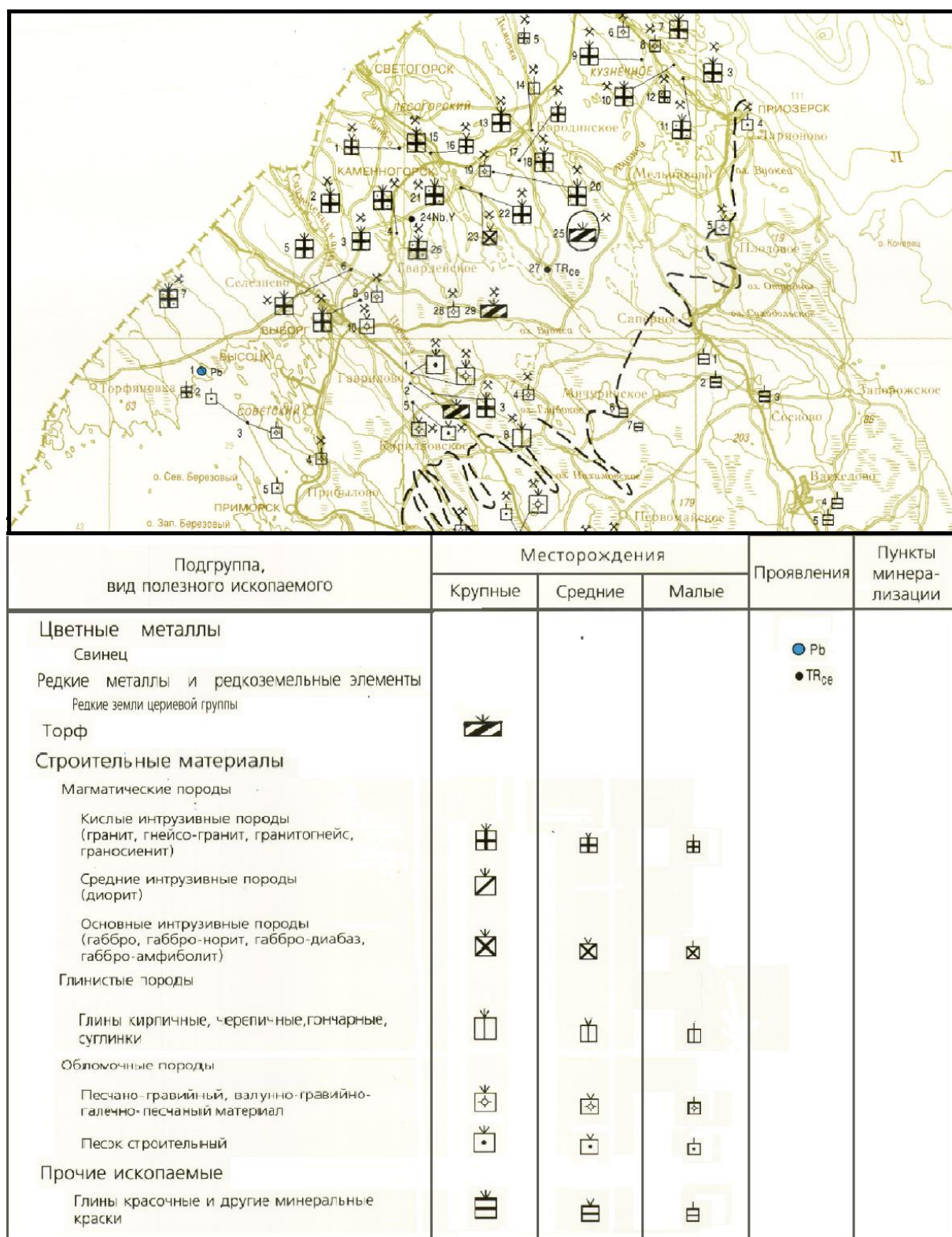


Рис. 10. Карта распространения полезных ископаемых на Карельском перешейке (по Яновскому А.С., Громыко Г.И., и др., 1986).

## **Твердые горючие ископаемые**

### **Торф**

Торфяники занимают около 1% площади. Преобладают торфяные месторождения верхового типа. Расположенные большей частью в межсельговых озерных котловинах ледникового происхождения и сложенные торфами малой степени разложения. Отдельные месторождения эпизодически отработываются для сельскохозяйственных нужд.

## **Металлические ископаемые**

На территории известно рудопоявление свинца и ряд мелких ореолов рассеяния меди в породах второй интрузивной фазы Выборгского массива, а в акватории Финского залива - проявления железомарганцевых конкреций (ЖМК).

### **Черные металлы**

#### **Железомарганцевые конкреции (ЖМК)**

ЖМК широко распространены и залегают преимущественно на поверхности дна или в слое современных поверхностных морских осадков мощностью до 15-20 см.

Кроме двух основных морфологических типов конкреций: уплощенных и сфероидальных, выделяются также покровные рудные корки.

Уплощенные ЖМК распространены преимущественно на участках дна, характеризующихся либо замедленными скоростями седиментации, либо на площадях нулевой седиментации. По химическому составу эти ЖМК относятся к существенно железистым. Конкреции рассматриваемого морфологического типа никогда не формируют устойчивых полей развития.

Наиболее перспективным типом ЖМК с точки зрения возможности их разработки, как сырья на марганец являются сфероидальные ЖМК. Основные их скопления приурочены к краевым частям областей современного накопления алевропелитового материала на глубинах моря от 20 до 60 м, преимущественно более 30 м. Продуктивность конкреционного слоя может достигать 20-25 кг/см<sup>2</sup>.

Концентрации микроэлементов в ЖМК совпадают в целом со значениями местного фона. Повышены в 2-5 раз по сравнению с фоном содержания Mo, Co, Ni, Zn. Обращает на себя внимание значительная величина дисперсии в распределении Pb. Отмечается существование регионального обогащения конкреций Pd и Ra.

Абсолютный возраст ЖМК, размером до 6 см не превышает 200-1500 лет, при условии отсутствия длительных перерывов роста (Петров О. В., Л. И. Красный, А. Ф. Морозов, 2006).

## **Цветные металлы**

### **Свинец**

На площади известно одно проявление свинца - Мунико-Ниеми. Площадь проявления имеет простое геологическое строение, она сложена мелко- и среднеовоидными выборгитами, в которых выявлены две системы редких вертикальных трещин. Рудные прожилки приурочены исключительно к первой системе трещин и являются наиболее молодыми, так как секут все породы, включая-гранит-аплиты и пегматиты. Кроме галенита из рудных минералов присутствуют пирит - около 6% и халькопирит - около 2%. Галенит содержит 80,5% свинца и до 20 г/т серебра. Гидротермальные изменения выборгитов выражены слабо. Такие изменения прослеживаются на глубину до 130 м и на 3-5 см в обе стороны от рудных прожилков. Изменение породы характеризуется аномальными концентрациями свинца (Петров О. В., Л. И. Красный, А. Ф. Морозов, 2006).

## **Неметаллические ископаемые**

### **Строительные материалы**

На площади листа известны месторождения кирпичных глин, песчано-гравийных материалов и строительного песка. Все они представлены четвертичными отложениями.

### **Глинистые породы**

#### **Глины кирпичные**

Разведано одно месторождение кирпичных глин, приуроченное к озерно-ледниковым отложениям - Верхне-Черкасовское. Месторождение эксплуатировалось до 1968 г., и в 1969 г. запасы месторождения сняты с государственного баланса. Мощность продуктивного пласта составляет 3,54 м. Запасы кирпичных глин по категориям А, В и С<sub>1</sub>, составляют 298 тыс. м<sup>3</sup> (Афанасов М.Н., 2002).



## **Обломочные породы**

### **Песчано-гравийный материал (ПГМ)**

Месторождения ПГМ распространены на площади достаточно широко. На суше месторождения ПГМ приурочены к озерно-ледниковым и флювиогляционным отложениям, а в акватории Финского залива к аккумулятивным формам рельефа. На суше разведано пять месторождений ПГМ, а в акватории Финского залива два. Ни одно из месторождений ПГМ в настоящее время не эксплуатируется. Наиболее крупное месторождение ПГМ в акватории Финского залива мыс Стирсудден - мыс Кюренниemi. Месторождение эксплуатируется, но добывается только строительный песок. Месторождение приурочено к морской аккумулятивной террасе. Средняя мощность продуктивных тел строительного песка составляет около 3 м., а ПГМ - 2,2 м (О. в . Петров, Л. И. Красный, А. Ф. Морозов, 2006).

### **Строительный песок**

Месторождения строительных песков имеют на площади первостепенное промышленное значение. Из шести разведанных месторождений запасы четырех месторождений состоят на балансовом учете и эксплуатируются. Пять месторождений расположены на акватории Финского залива. Единственное месторождение песков, расположенное на суше - Ермилово. Мощность продуктивной толщи - 11,63 м, и представлена крупнозернистыми песками озерно-ледникового генезиса. Пески используются в автодорожном строительстве. Более интенсивная добыча строительных песков проводится на акватории Финского залива. Эксплуатируются три месторождения. Месторождение с наибольшими запасами - Стирсудденские Банки приурочено к аккумулятивной гряде (Афанасов М.Н., 2002).

## **Прочие ископаемые**

### **Сапропель**

Сапропель встречается в отложениях почти всех современных озер на площади Карельского перешейка. Разведано только одно месторождение сапропеля - Лебединское. Сапропель здесь силикатного класса, площадь залежи составляет 125 га.

### 3. Методика полевых работ

#### 3.1. Магниторазведка

Магнитометрические исследования, проводимые на водных участках полигона, были выполнены с целью обнаружения локальных техногенных и природных магнитных объектов (валуны, металлический мусор и т.п.), размерами более 2-х метров, которые представляют опасность при строительстве причала, и располагающихся в приповерхностной толще грунта или на дне акватории.

При проведении работ использовались протонные магнитометры «МИНИМАГ» (рис. 11).



*Рис. 11. Внешний вид протонного магнитометра «МИНИМАГ».*

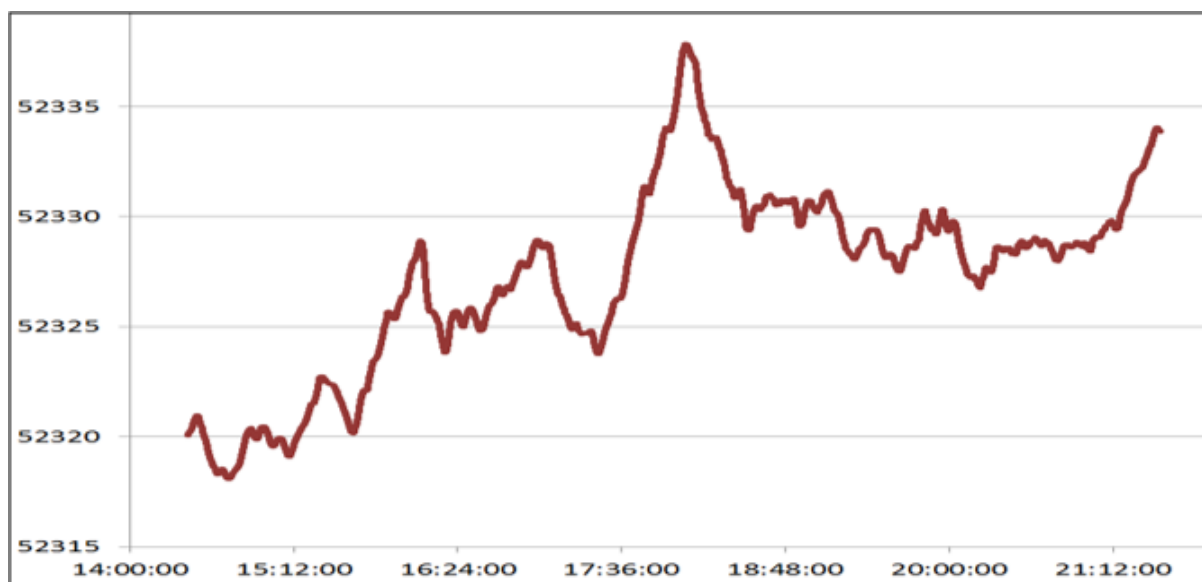
Протонный магнитометр состоит из магниточувствительного блока (сосуд с жидкостью, обогащенной протонами, вокруг которого намотаны возбуждающая и измерительная катушки), регистратора измерений и аккумулятора. Принцип действия таких приборов основан на явлении свободной прецессии протонов в земном магнитном поле. Частота прецессии зависит от модуля индукции магнитного поля Земли.

«МИНИМАГ» предназначен для измерения модуля геомагнитного поля. Каждому измерению присваивался порядковый номер, по которому он привязывался к пункту наблюдения на местности. Так же магнитометр может быть использован для записи значений модуля индукции магнитного поля Земли в режиме вариаций.

Результаты измерений (значение магнитного поля, время и порядковый номер измерения) магнитометр накапливает в памяти. Емкость памяти магнитометра рассчитана на хранение порядка 62 тыс. рядовых наблюдений при выполнении

съёмочных работ и порядка 125 тыс. измерений при работе в режиме магнитовариационной станции.

Перед началом выполнения работ, на участке со слабо-градиентным геомагнитным полем, вблизи площади исследования, устанавливалась магнитовариационная станция, которая фиксировала вариации значений магнитного поля земли с интервалом 4 секунды (рис. 12). Затем, производилась обязательная синхронизация DGPS, магнитометра и вариационной станции. Ежедневно перед непосредственным измерением значений  $|T|$  на участке работ, проводилась серия замеров на предварительно выбранном (в слабо градиентном по латерали поле) контрольном пункте (КП). Такие измерения повторялись в середине и в конце рабочего дня.



*Рис. 12. График магнитных вариаций, полученный 24.08.15. По вертикальной оси указано значение магнитного поля в нТл, по горизонтальной - время.*

Площадные исследования были проведены по сети параллельных профилей, отстоящих друг от друга расстояние приблизительно на 5 м. Шаг измерений по профилю не превышал 5 м. Детальность съёмки обеспечивала надежное обнаружение локальных магнитных предметов, расположенных в грунте на береговой части, на дне и в поддонных отложениях. Положение каждой измеренной точки на площади исследования определялось с помощью ГНСС системы “ЕРОСН 35” с точностью не хуже, чем 0,2 м. в плане.

Магниторазведочные работы на акватории, проводились в движении, в режиме измерения вариаций с интервалом времени взятия отсчётов 2 секунды. Полевой магнитометр и полевой модуль GPS размещался на разных концах моторной лодки.

При этом магниточувствительный блок магнитометра был вынесен с носа лодки на немагнитной штанге на 3 метра (рис. 13).



*Рис. 13. Лодка с установленными магнитометром и DGPS.*

Лодка передвигалась по заранее подготовленным траекториям. Навигация и контроль перемещения по траекториям осуществлялись через ноутбук в программе Hydromagic 5.0 (рис. 14). Скорость движения составляла не более 4 км/ч, что обеспечивало необходимый шаг наблюдений по профилю. Расстояние между магнитометром и DGPS приёмником составляло 5 м. DGPS работал в RTK режиме, регистрируя плановое местоположение не более одного раза в две секунды.

Если глубина воды не превышала 1 метр, исследования проводились по методикам, использованным при производстве магниторазведочных работ на наземной части.

Ежедневно проводился контроль качества получаемых данных, а также первичный анализ и предварительная обработка полевых материалов. Первичная обработка магниторазведочных данных производилась в программе «Mag-GPS». Программа позволяет в едином проекте производить привязку магниторазведочных данных, полученных с использованием различных методик съёмки, учитывать вариации значений геомагнитного поля Земли, рассчитывать аномальное магнитное поле ( $T_a$ ) различными методами и визуализировать местоположение точек съёмки на координатной сетке с цветовым отображением амплитуд  $T_a$ . Итогом работы программы

является полностью готовая к дальнейшей обработке и построению карт изолиний единая база координат и величин аномального магнитного поля (рис. 15).

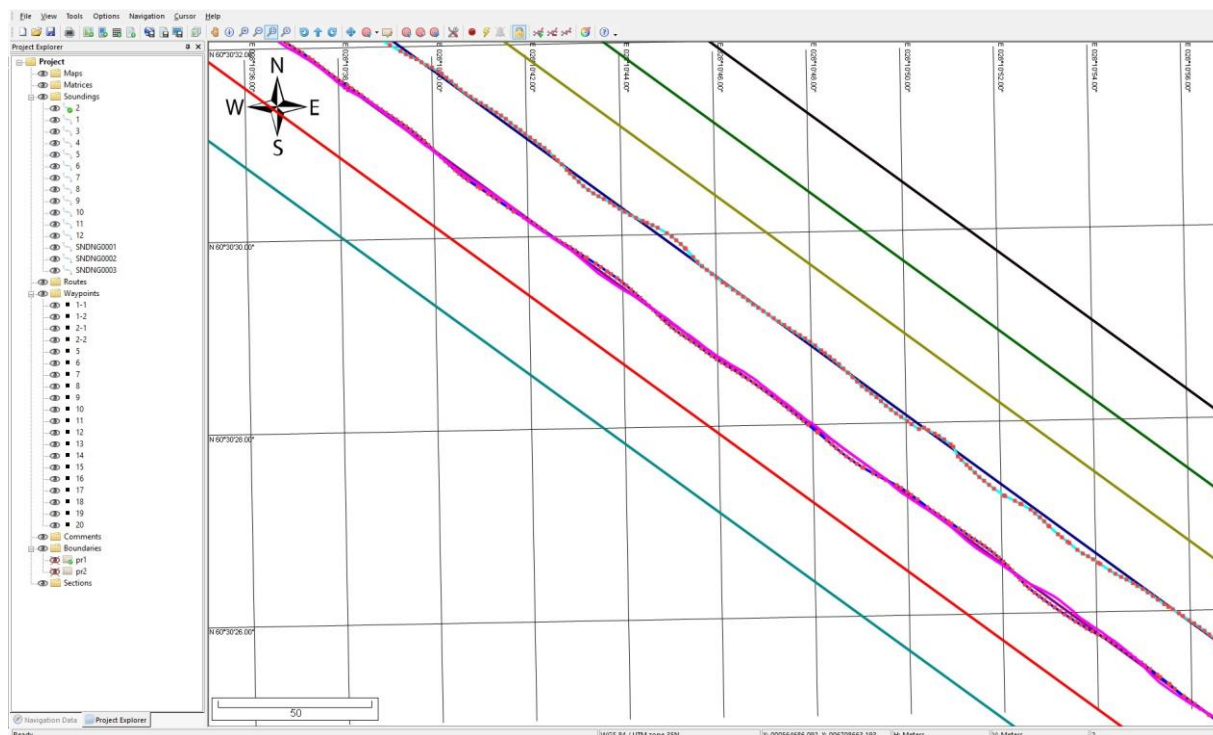


Рис. 14. Рабочее окно программы Hydromagic 5.0. Сплошной линией показаны положение профилей, пунктирной - движение лодки.

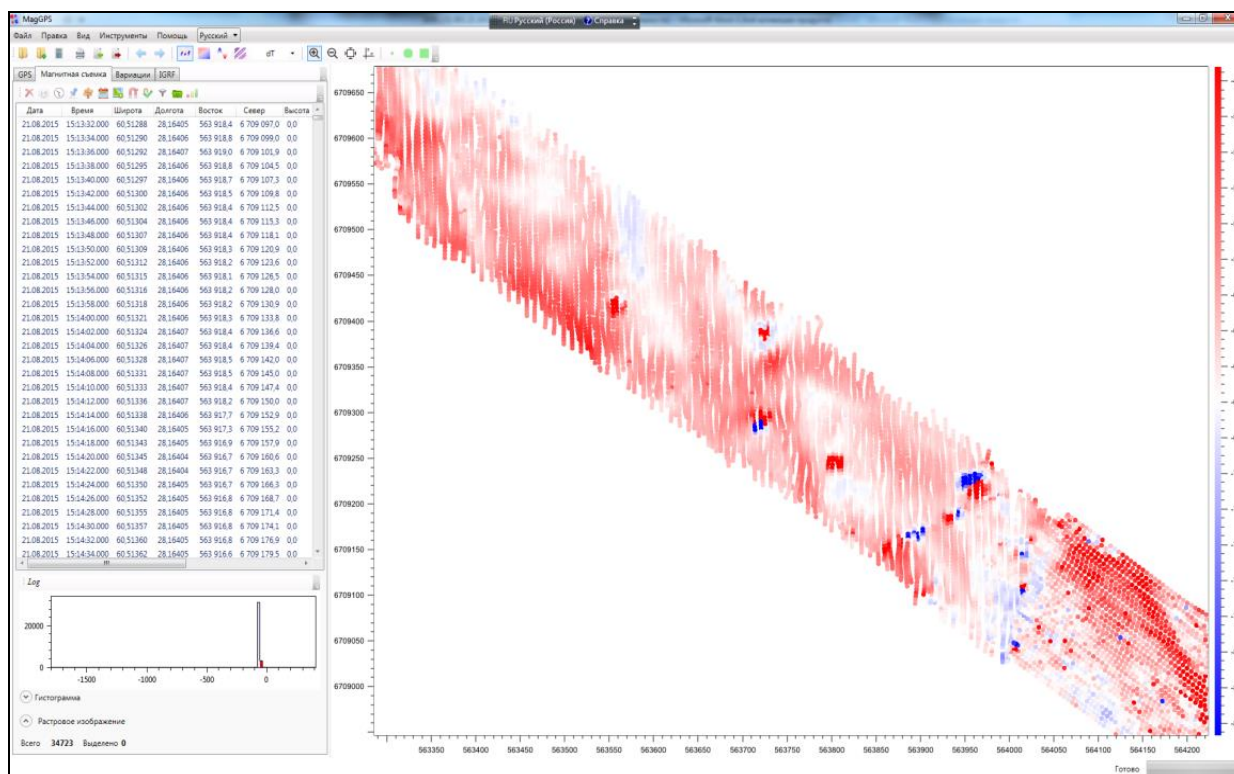


Рис. 15. Рабочее окно программы «Mag-GPS» с цветовым отображением амплитуд  $T_a$ .



### 3.2. Электроразведка

Электроразведочные работы на акватории выполнялись с целью изучения геоэлектрических параметров разрезов вдоль профилей, расположенных параллельно простиранию причала.

Измерения проводились с использованием многоканальной электроразведочной аппаратуры - SYSCAL Pro Switch.48 (рис. 16).



*Рис. 16. Внешний вид электроразведочной аппаратуры «SYSCAL Pro Switch.48».*

В ходе полевых наблюдений использовалась герметичная 24-х электродная коса с линейным расстоянием между соседними электродами 5 метров (рис. 17).



*Рис. 17. Электроразведочная коса, байонетный разъем (с герметично закрывающейся крышкой) и титановый электрод с соединителем «коса-внешний электрод».*



Измерения выполнялись установкой «диполь-диполь» и «веннера-шлюмберже». В процессе измерений одна пара электродов становилась питающим диполем (AB), а остальные электроды косы последовательно становились приемными диполями (MN). При измерениях по схеме «диполь-диполь» максимальное расстояние между центрами диполей ОО' составляло 100 метров. В зависимости от удаления размер диполя варьировался от 5 до 15 метров. Протокол полного цикла измерений включал 209 значений. При измерениях по схеме «веннер-шлюмберже» расстояние между приемными электродами MN изменялось от 5 м до 10 м, расстояние между питающими электродами АВ увеличивалось от 15 до 110 метров. Протокол полного цикла измерений включал 124 значения (рис. 18, 19).

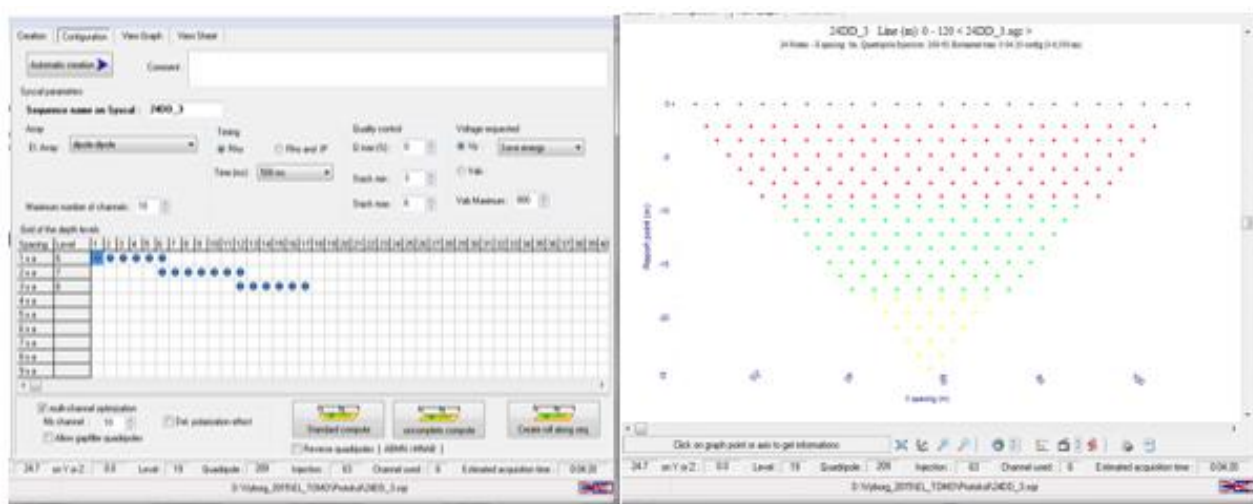


Рис. 18. Протокол установки «диполь-диполь».

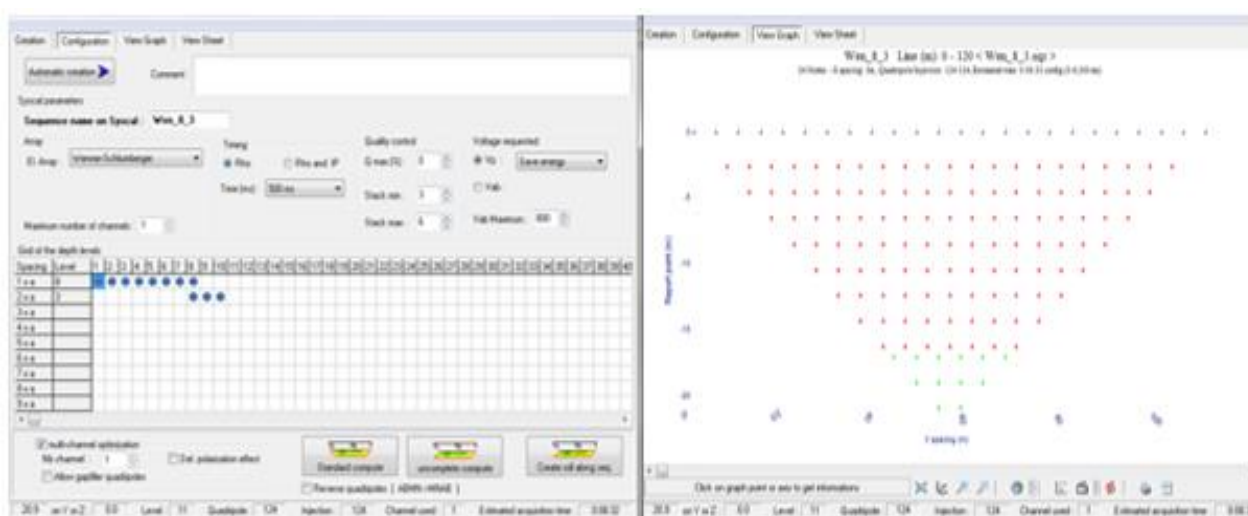


Рис. 19. Протокол установки «веннера-шлюмберже».

Измерения на акватории производились следующим образом. Резиновая лодка с находящейся в ней измерительной аппаратурой и косой с помощью GPS выводилась на начальную точку расстановки и устанавливалась на якорь. С помощью второй лодки коса погружалась на дно и вытягивалась вдоль линии профиля (рис. 20). Первый и последний каналы косы закреплялись якорями. После проведения измерения вся установка перемещалась далее по линии профиля. Перекрытия между расстановками составляли 20-30 метров. Измерения глубин погружения каналов электроразведочной косы производились ручным эхолотом, а для измерения удельного электрического сопротивления воды использовался резистивиметр «НІ 9033».



*Рис. 20. Производство электроразведочных работ на акватории. Погружение электроразведочной косы на дно.*

Первичная обработка данных электротомографии проводилась параллельно с проведением полевых работ. Для анализа качества измерений и их первичной обработки применялась программа ZondProtocol, предназначенная для визуализации полученных данных и экспресс обработки результатов (рис. 21). На первом этапе производился расчет и оценка дисперсии измерений с последующей отбраковкой данных. Удалялись явно завышенные или заниженные значения, не коррелирующие с остальными и измерения с низкими весами. Величина веса рассчитывалась исходя из значений стандартного отклонения, записываемых в файл данных в ходе полевых измерений. Также для оценки качества полевых материалов использовался специальный алгоритм, основанный на свойствах потенциала и принципе взаимности.

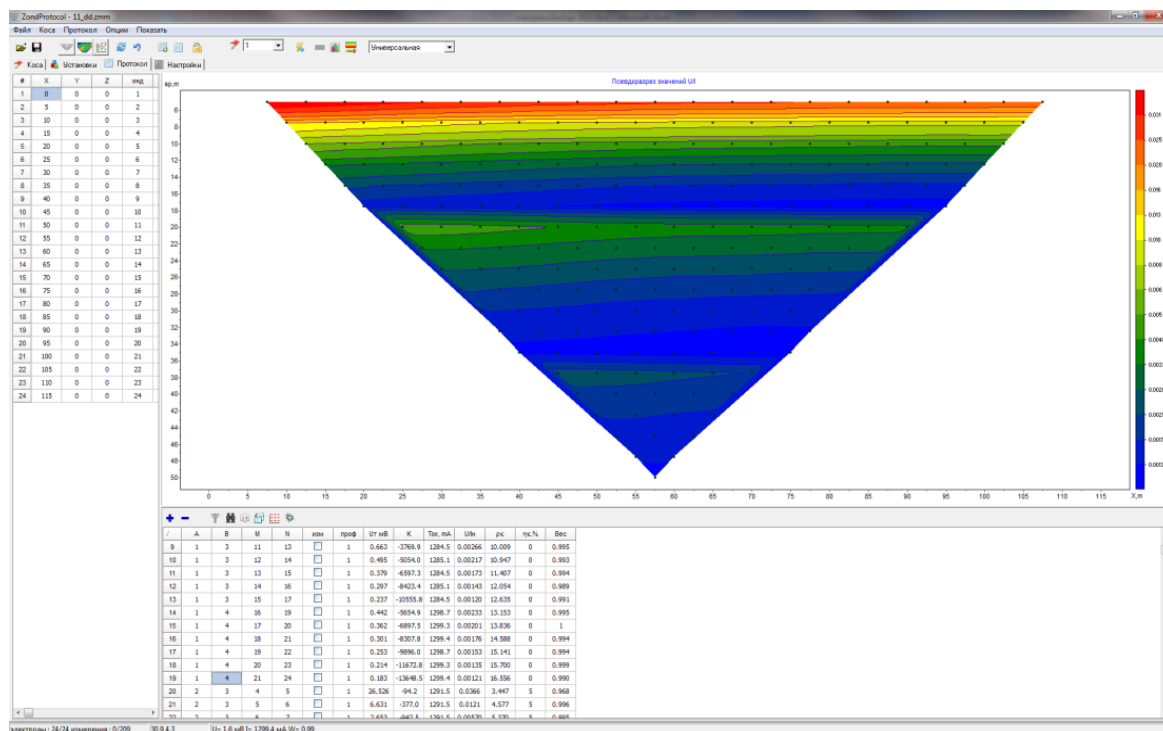


Рис. 21. Рабочее окно программы «ZondProtocol». Псевдоразрез кажущихся сопротивлений (установка «диполь-диполь»).

### 3.3. Сейсморазведка

Сейсморазведочные работы на акватории были выполнены методом преломленных волн с целью изучения глубины залегания и характера поверхности кристаллического фундамента и получения модели среды, позволяющей расчленить ее по скоростным параметрам.

При проведении сейсморазведочных работ в качестве регистрирующей аппаратуры была использована инженерная 48 канальная сейсмостанция “ЭЛЛИСС-3” (рис. 22). Для управления процессом измерений, первичной обработки и оценки качества данных использовался ноутбук с установленной программой регистрации данных.



*Рис. 22. Внешний вид сейморазведочной станции «ЭЛИСС-3».*

Для возбуждения упругого сигнала при производстве работ на акватории применялся пороховой источник «Пика-Д» (рис. 23). Генерация импульса производилась с помощью выстрела строительно-монтажных патронов серии «Д». Энергия от источника составляет приблизительно 0,8 кДж.

Для регистрации получаемых данных на акватории использовался комплект герметичных сейсмических кос с подключёнными к ним гидрофонами.



*Рис. 23. Сейморазведочный источник Пика-Д (слева) и возбуждение упругого сигнала с его помощью (справа).*

На акватории и прибрежных участках были проведены исследования методом преломлённых волн. Измерения выполнялись вдоль проектных линий профилей, размеченных ранее.

Лодка с растянутой 24-х канальной буксируемой косой двигалась вдоль линии профиля. Глубина погружения косы составляла 1 м. Шаг пунктов приёма на косе составлял 4 м. Оператор сейсмостанции и источник упругих колебания также располагались на лодке. По команде оператора осуществлялось возбуждение упругой волны и одновременная привязка пункта возбуждения с помощью DGPS приёмника (рис. 24).



*Рис. 24. Производство сейсморазведочных работ на акватории.*

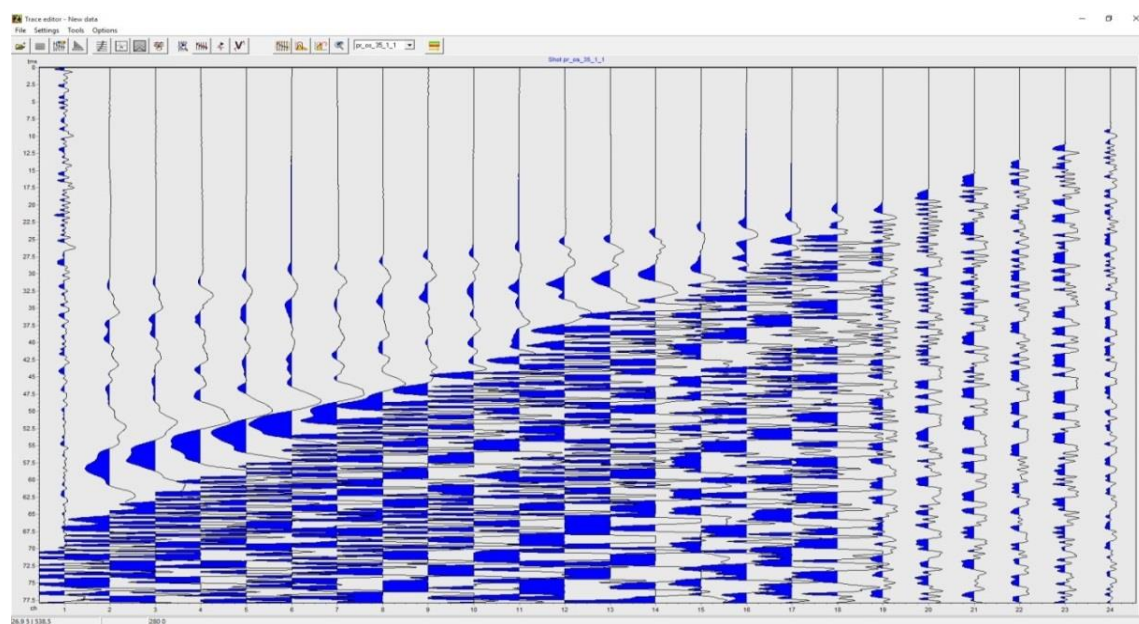
В процессе работ в береговой зоне оператор сейсмостанции обычно располагался на берегу, вблизи первого канала косы (рис. 25). В случае невозможности поместить оператора с аппаратурой на берегу, использовалась дополнительная лодка, устанавливаемая с помощью якоря в районе 1-го канала косы. Лодка, в которой находился источник возбуждения, последовательно перемещалась вдоль линии профиля с шагом 8 метров, производя возбуждения упругих колебаний.





*Рис. 25. Сейсморазведочные работы в береговой зоне.*

Первичная обработка и оценка качества данных осуществлялась в программе «ZondST2D» (рис. 26). Она включала в себя пикирование первых вступлений, отбраковку материалов, а так же суммирование сейсмограмм.



*Рис. 26. Рабочее окно программы «ZondST2D». Пример сейсмограммы, полученной при производстве сейсморазведочных работ на акватории.*



## 4. Методика обработки данных

### 4.1. Магниторазведка

Получаемые в ходе магнитной съемки измерения магнитного поля анализировались в программе «Mag-GPS» и в случае необходимости производились повторные и контрольные измерения (рис. 27).

29\_08\_sever\_y\_berega\_607.spr — Блокнот

Файл Правка Формат Вид Справка

Данные измерения магнитометра ММПГ-1 (МИНИМАГ)  
Файл: D:\data\vyborg\_2015\mag\29\_08\29\_08\_sever\_y\_berega\_607.txt

Дата: 29.08.15  
Участок: 0

поле1	д	время	профиль	пикет (в кадра)
52314.11	0	12:52:19	00000000	00000
52313.60	0	12:52:24	00000000	00001
52313.60	0	12:52:28	00000000	00002
52313.92	1	12:52:32	00000000	00003
52313.89	0	12:52:35	00000000	00004
52314.03	1	12:52:38	00000000	00005
52313.94	1	12:52:42	00000000	00006
52313.58	0	12:52:46	00000000	00007
52313.61	0	12:52:49	00000000	00008
52313.61	0	12:52:52	00000000	00009
52313.52	0	12:52:55	00000000	00010

Дата: 29.08.15  
Участок: 0  
Автоматический режим, цикл - 2 сек.

поле1	д	время
52312.27	0	12:56:58
52312.10	0	12:57:00
52312.16	0	12:57:02
52312.85	0	12:57:04
52312.85	0	12:57:06
52312.67	0	12:57:08
52312.12	0	12:57:10
52314.91	0	12:57:12
52316.69	1	12:57:14
52316.91	1	12:57:16
52317.26	0	12:57:18
52316.86	1	12:57:20
52316.79	0	12:57:22
52317.68	0	12:57:24
52318.23	0	12:57:26
52318.83	0	12:57:28
52319.70	0	12:57:30
52321.29	0	12:57:32
52321.71	0	12:57:34
52324.02	0	12:57:36
52323.93	0	12:57:38
52322.98	0	12:57:40
52322.96	0	12:57:42
52321.98	1	12:57:44
52319.57	0	12:57:46
52317.82	1	12:57:48
52317.79	0	12:57:50
52317.75	0	12:57:52
52317.68	1	12:57:54
52316.79	0	12:57:56
52316.11	0	12:57:58
52315.82	0	12:58:00
52315.44	1	12:58:02
52315.69	0	12:58:04
52316.22	0	12:58:06
52315.55	1	12:58:08
52315.05	1	12:58:10

Рис. 27. Пример «полевых» магниторазведочных данных, полученных у северного берега о. Подвесельный.

На первом этапе обработки определялись координаты каждой точки, на которой было произведено измерение. Это осуществлялось с помощью программы «MAG-GPS» (рис. 3.5), которая позволяет отображать и корректировать данные, которые были выполнены как в движении, так и по отдельным точкам. Программа используется не только для увязки данных по времени, но и для учета перепада высот, т.к. из-за фиксированного расстояния между DGPS и магнитометром (5 м), возникает сложность определения местоположения магнитометра. Так же в «MAG-GPS» визуализируются точки (в плане), где были сделаны измерения модуля геомагнитного поля, отбраковываются ложные значения (обычно не более 2 % от общего объема данных), и рассчитывается по наблюдаемым значениям  $T$  аномальное магнитное поле:

$$\Delta T = T - T_n - T_{\text{вар}},$$

где:

$T$  - наблюдаемое значение модуля геомагнитного поля;

$T_n$  - уровень нормального геомагнитного поля (в нашем случае использовалось усредненное значение геомагнитного поля, рассчитанное для каждого участка);

$T_{\text{вар}}$  - значения геомагнитного поля, измеренные на вариационной станции.

На следующем этапе работ с помощью программы «Surfer 10» значения  $T_a$  пересчитывались на равномерную координатную сеть по методу интерполяции “kriging” с расстоянием между узлами  $2 \times 2$  м. Далее строилась карта изолиний  $T_a$  с подложенной картой дна (гидролокация бокового обзора). В результате анализа карт изолиний аномального магнитного поля выделяются зоны присутствия приповерхностных магнитоактивных объектов (рис. 28).

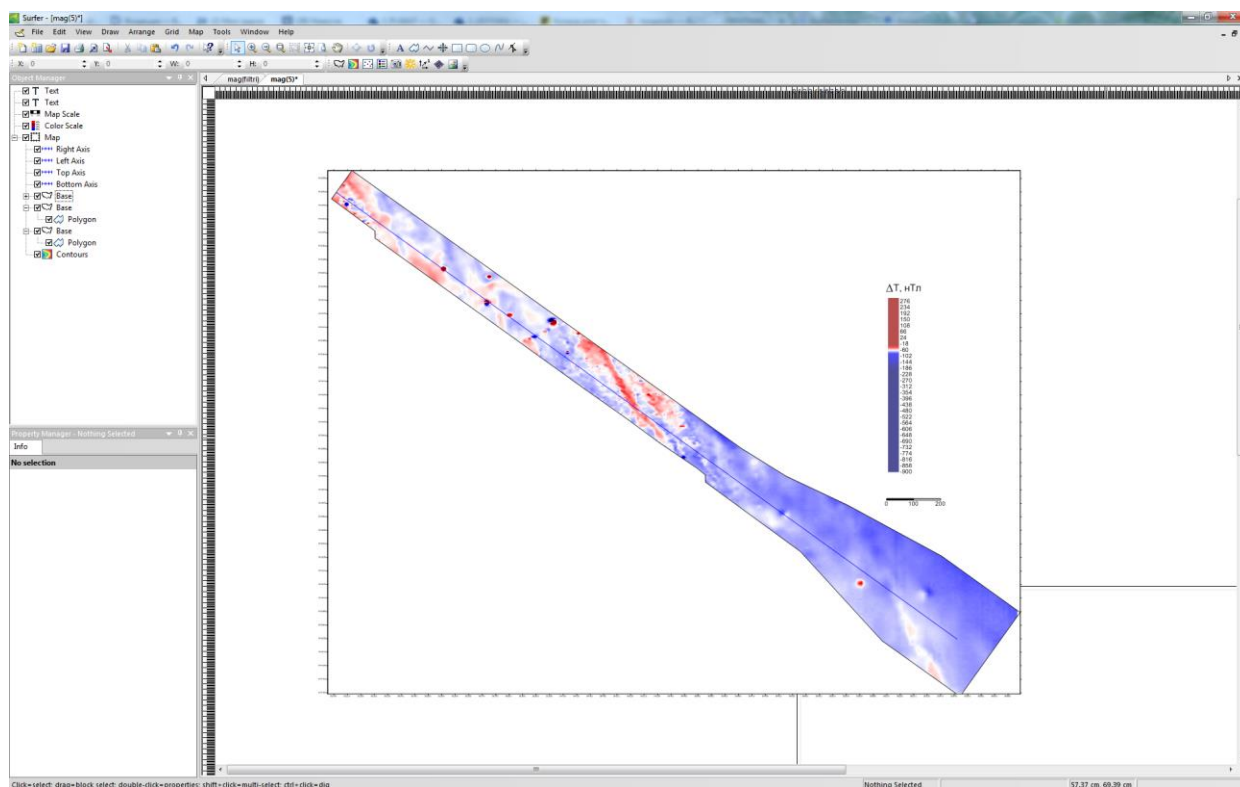


Рис. 28.. Пример построения карты изолиний аномального магнитного поля в программе «Surfer 10». Интерполяция выполнена по методу “kriging” с расстоянием между узлами  $2 \times 2$  м.

## 4.2. Электроразведка

Как было сказано выше, первичный контроль и отбраковка материалов осуществлялась в программе ZondProtocol. Затем осуществлялось суммирование расстановок, которые были сделаны заранее с необходимым перекрытием. Кроме того, было выполнено наложение измерений, выполненных установками «диполь-диполь» и «веннера-шлюмберже». Далее полученный файл экспортировался в программу ZondRes2D, где осуществлялась интерпретационная обработка.

Программное обеспечение ZondRes2D позволяет решать прямую и обратную задачи электротомографии и получать в результате геоэлектрический разрез среды (рис. 30). На вход программы подавалась таблица с координатами электродов, значения нормированного на ток сигнала и дисперсии измерений. Также в программу заносился рельеф поверхности дна, уровень и удельное электрическое сопротивление воды (2.0-2.2 Ом·м), которое было измерено по двум методикам. За начальную модель среды принималось однородное полупространство с удельным электрическим сопротивлением равным среднему кажущемуся сопротивлению, рассчитанному по всем не отбракованным в процессе обработки данным.

Качество восстановления модели среды оценивалось по значению относительной невязки между наблюдаемыми и вычисленными значениями нормированного сигнала. Удовлетворительным считалось значение невязки менее 3%. Достоверность полученной модели оценивалась по распределению потенциала и функции чувствительности.

При проведении работ методом электротомографии для уменьшения зон недостоверной информации на концах расстановок раскладка электроразведочных кос производилась с перекрытием в несколько каналов. При проведении работ на акватории и донной укладке кос перекрытие каналов происходит с некоторой погрешностью, что впоследствии может оказать некоторое влияние на результаты инверсии в местах перекрытия (приложения 5, 7).

В итоге по результатам инверсии данных электротомографии построены сводные профили, объединяющие несколько расстановок (рис. 31).

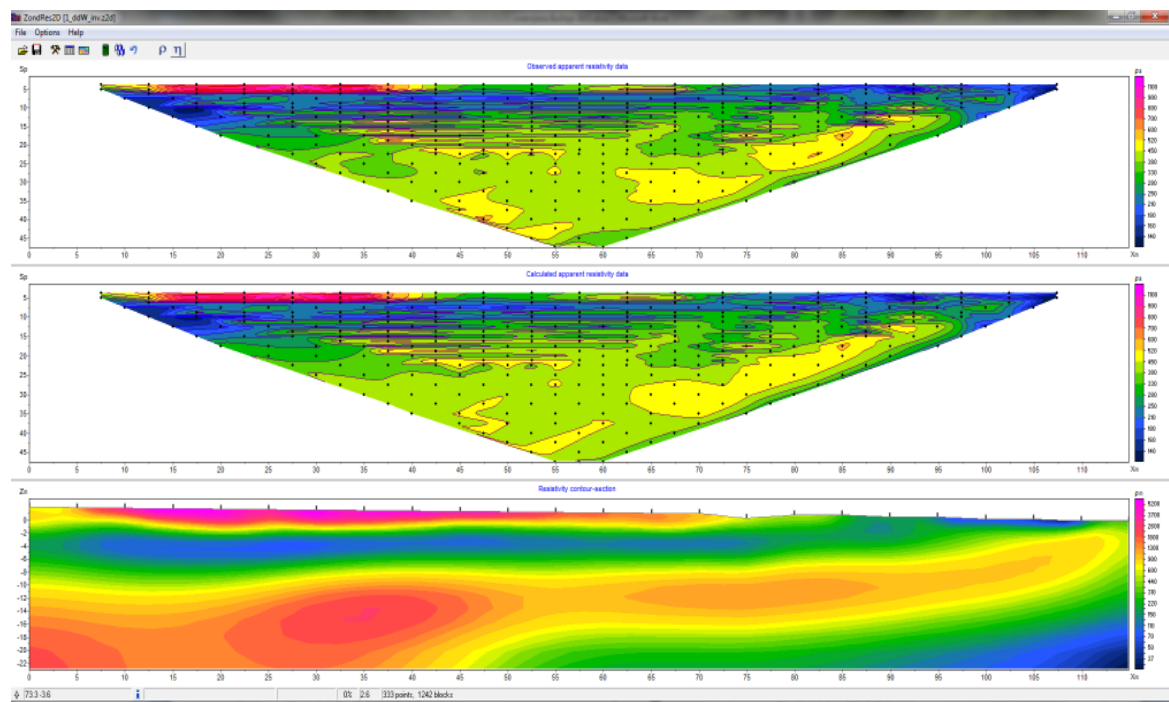


Рис. 30. Рабочее окно программы «ZondRes2D». Решение обратной задачи электротомографии на профиле 2э.

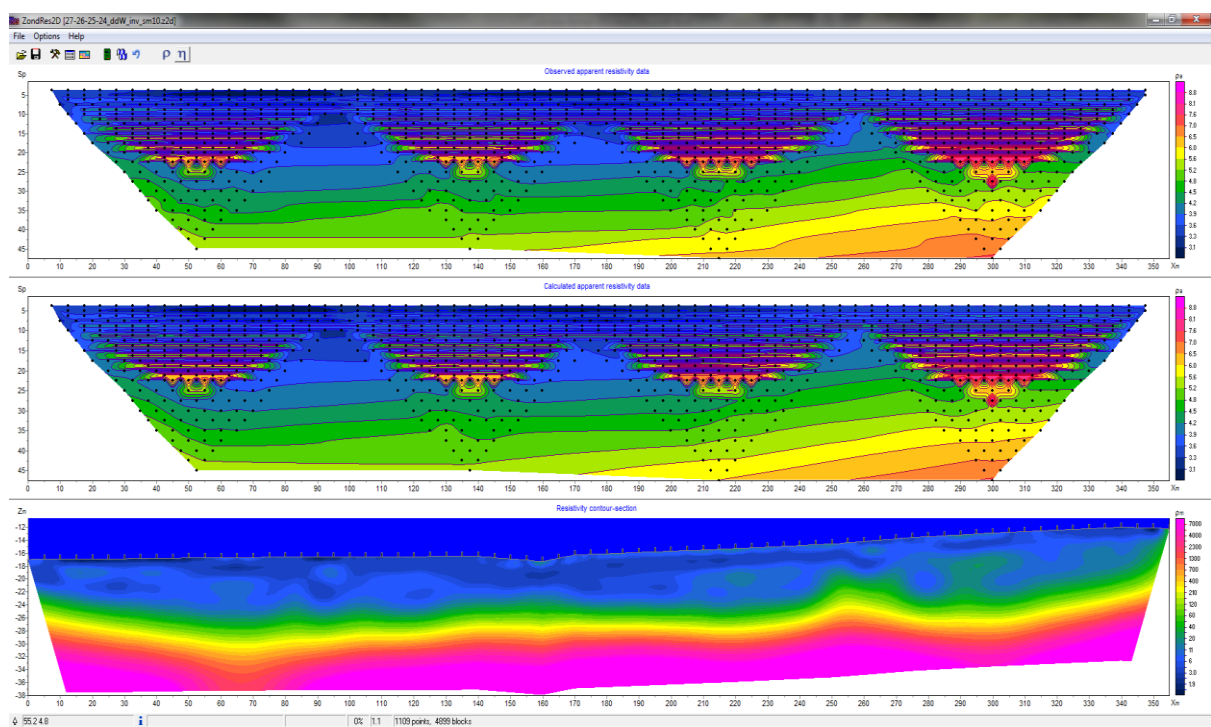


Рис. 31. Рабочее окно программы «ZondRes2D». Процесс совмещения расстонок «диполь-диполь» и «веннера-шлюмберже» на профиле 5э.

### 4.3. Сейсморазведка

Обработка данных, полученных по методу преломлённых волн, проводилась в программах «ZondST2D» (рис. 32) и «XТomo-LM 2.1» (рис. 35). Первичная обработка полевых сейсмограмм включала в себя следующие операции:

- ввод координат источников и приёмников, глубины погружения пункта приема и пункта возбуждения сигнала;
- анализ сейсмограмм, изучение частотных характеристик сигнала;
- фильтрацию полевых данных;
- суммирование сейсмограмм.

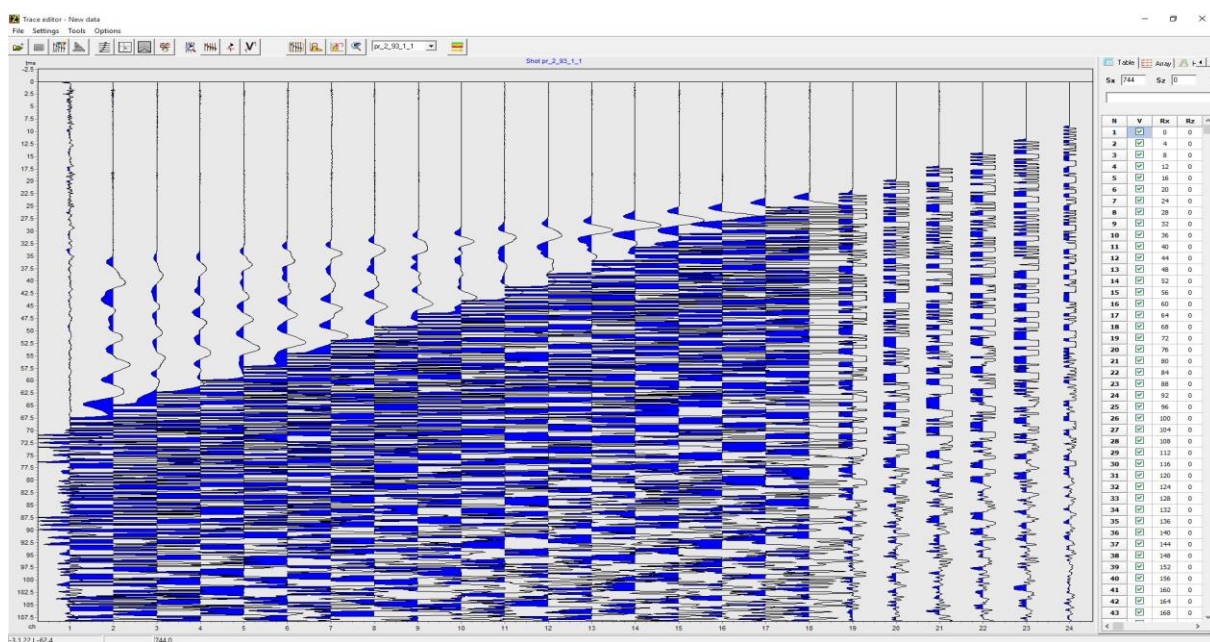


Рис. 32. Рабочее окно программы «ZondST2D». Пример «полевой» сейсмограммы, полученной при производстве сейсморазведочных работ на акватории.

На следующем этапе проводилось выделение времён первых вступлений (пикирование) для построения годографов. Для контроля качества корреляции использовалось совместное представление взаимных трасс и годографов. В ходе обработки годографы сводились по взаимным временам. Критерием качества пикирования являлось среднее расхождение по взаимным временам для всей расстановки.

Особое внимание при обработке было уделено общему качеству полученных сейсморазведочных данных, анализу качества сейсмических записей во взаимных точках и оценке возможности непрерывного прослеживания целевых волн.



Заключительным этапом обработки полученных материалов являлось построение двумерных распределений скоростей полезных волн методом сейсмической томографии. Томографическая инверсия выполнялась в программе «ХТомо-LM 2.1». Процесс получения скоростного изображения среды включал этап определения начальной модели и томографическую инверсию. Первый этап состоял из следующих процедур: создание проекта, определение параметров и распределений скоростей в начальной модели, ввод геометрии наблюдения и «отпикированных» времён первых вступлений, а также коррекция (при необходимости) начальной модели.

На этапе томографической инверсии применялся итерационный подход к процессу решения прямой задачи, определению параметров решения обратной задачи и восстановлению двумерного распределения скорости. В процессе инверсии применялся метод последовательного перехода от восстановления глобального скоростного тренда и аномалий крупного размера к восстановлению локальных малоразмерных особенностей и истинного скоростного распределения среды. Для этого при решении обратной задачи каждый раз определялись параметры регуляризации и сглаживания модели с общей тенденцией к последовательному их уменьшению. В процессе томографического обращения особое внимание уделялось графику изменения невязки по мере увеличения количества итераций. Прекращение уменьшения (или дальнейшее незначительное падение) невязки между вычисленными и наблюдаемыми годографами являлось сигналом к остановке томографической инверсии (рис. 33).

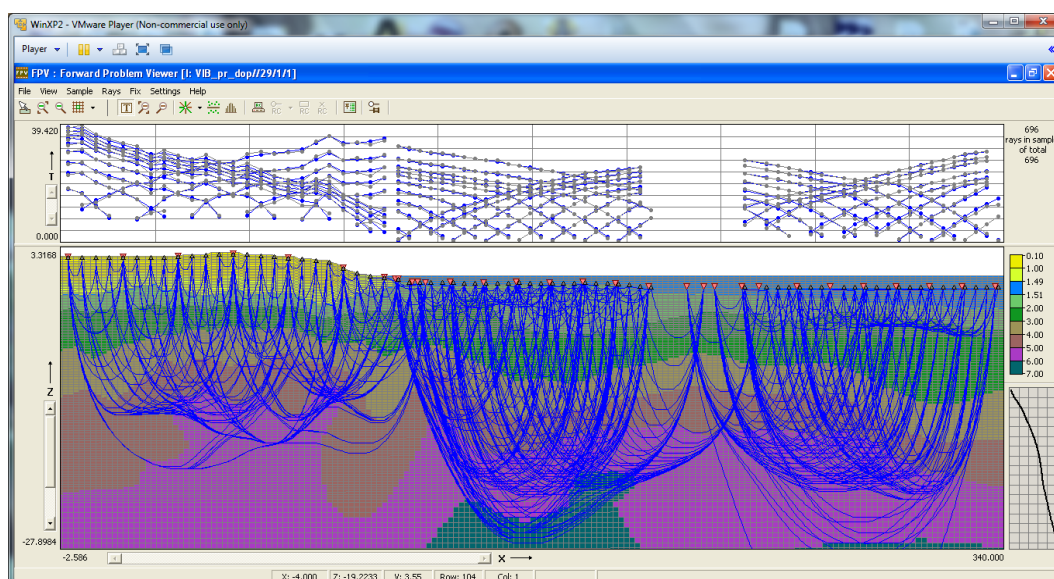


Рис. 33. Рабочее окно программы «ХТомо-LM 2.1». Этап подбора скоростной модели методом томографической инверсии.



## 5. Результаты работ.

По результатам выполненных геофизических работ и последующей обработки полученных данных построены геолого-геофизические разрезы и карты, представленные в приложениях № 1-8.

В результате обработки магниторазведочных данных построена карта аномального магнитного поля, которая в целом характеризуется спокойными значениями  $T_a$ , с амплитудой порядка 10-15 нТл (приложение № 1). На акватории, в дополнение к проведенным площадным магниторазведочным исследованиям, выполнена гидролокация бокового обзора (ГЛБО), данные которой представлены совместно с магниторазведкой на приложениях № 2-3.

На карте выделяются вытянутые обширные аномалии меридионального протирания, связанные с геологическим строением изучаемой территории (рис. 34).

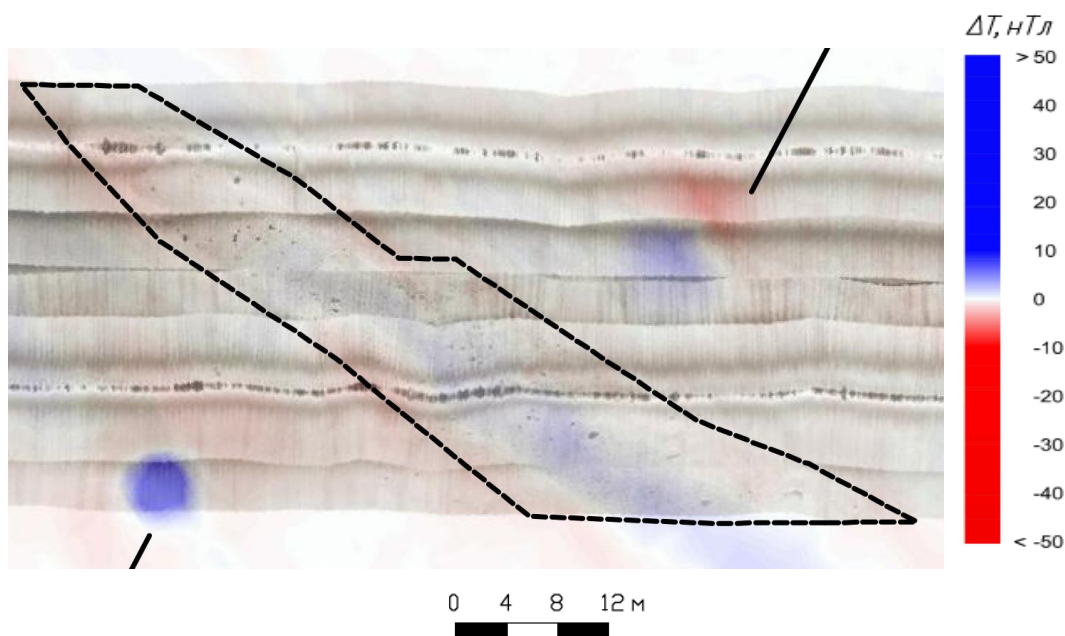


Рис. 34. Фрагмент карты аномального магнитного поля с подложкой данных ГЛБО.

*Штриховкой выделена меридиональная магнитная аномалия, связанная с геологическим строением территории.*

На этом фоне, искажения, создаваемые магнитоактивными объектами, выделяются яркими, чаще всего изометричными аномалиями, большой амплитуды (50-300 нТл). Сопоставив карту аномального магнитного поля с мозаикой ГЛБО, удалось определить природу большинства выделенных аномалий.

Так в интервале от береговой линии до о. Подвесельный выделено несколько аномалий, четко совпадающих с положением пробуренных скважин и связанных с оставленным после бурения металлом (рис. 35).

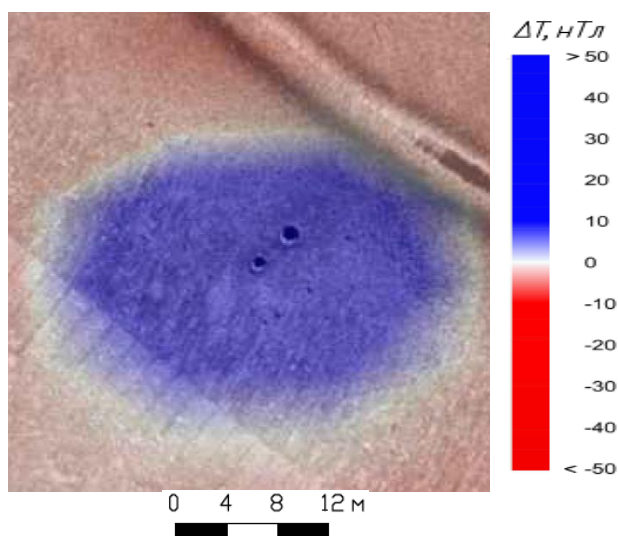


Рис. 35. Фрагмент карты аномального магнитного поля с подложкой данных ГЛБО.

*Магнитная аномалия, связанная с оставленным после бурения металлом.*

Также, на мозаике ГЛБО удалось выделить объекты неметаллической природы, являющиеся помехой при проведении будущего строительства. Это скопления валунов различного размера (рис. 36), а также остатки причального сооружения поблизости от западного берега о. Подвесельный (рис. 37).

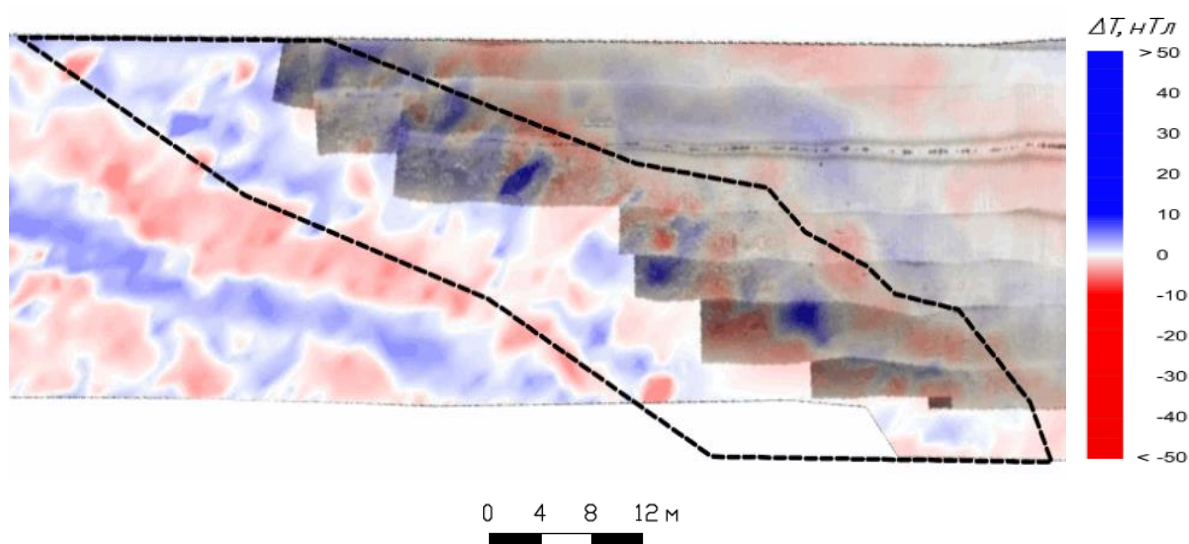
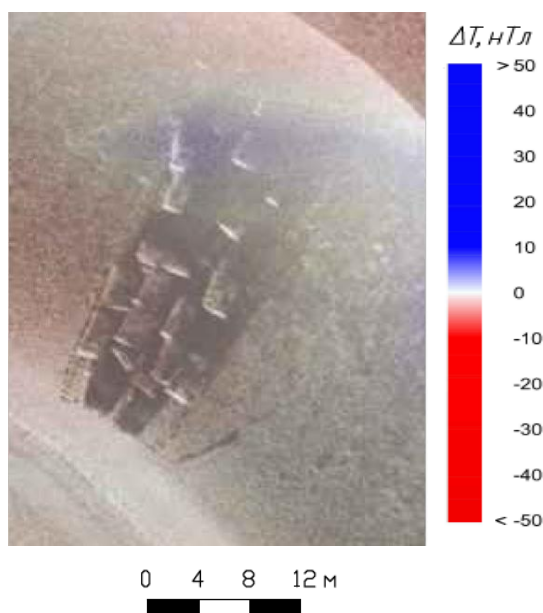


Рис. 36. Фрагмент карты аномального магнитного поля с подложкой данных ГЛБО.

*Штриховкой выделена магнитная аномалия, связанная со скоплением валунов у береговой части. В левой части рисунка расположена карта магнитного поля с подложной ГЛБО.*



*Рис. 37. Фрагмент карты аномального магнитного поля с подложкой данных ГЛБО. Магнитная аномалия, связанная с обломками причального сооружения поблизости от западного берега о. Подвесельный.*

Задачу определения глубины залегания скальных грунтов решали проведенные профильные сейсморазведочные работы. В основе интерпретации сейсморазведочных работ лежит зависимость скоростей распространения упругой волны в горной породе от ее литологического состава, пористости, трещиноватости, флюидонасыщения, давления, возраста и др. Изучая распространение различных типов упругих волн через геологическую среду, можно выделить в ней элементы, отличающиеся по скорости распространения волн.

Разнообразие факторов, влияющих на скорость распространения волн, приводит к тому, что нельзя установить однозначного соответствия между литологическим составом породы и ее скоростными характеристиками. На рис. 38 приведены скоростные характеристики наиболее распространенных горных пород. Как следует из рисунка, скорость распространения поперечных волн в плотных породах меньше скорости продольных волн примерно вдвое, в более рыхлых породах и в глинах отношение  $V_p/V_s$  увеличивается.

Одним из существенных факторов, влияющих на скорости распространения сейсмических волн, является пористость породы: чем выше пористость, тем ниже скорость.

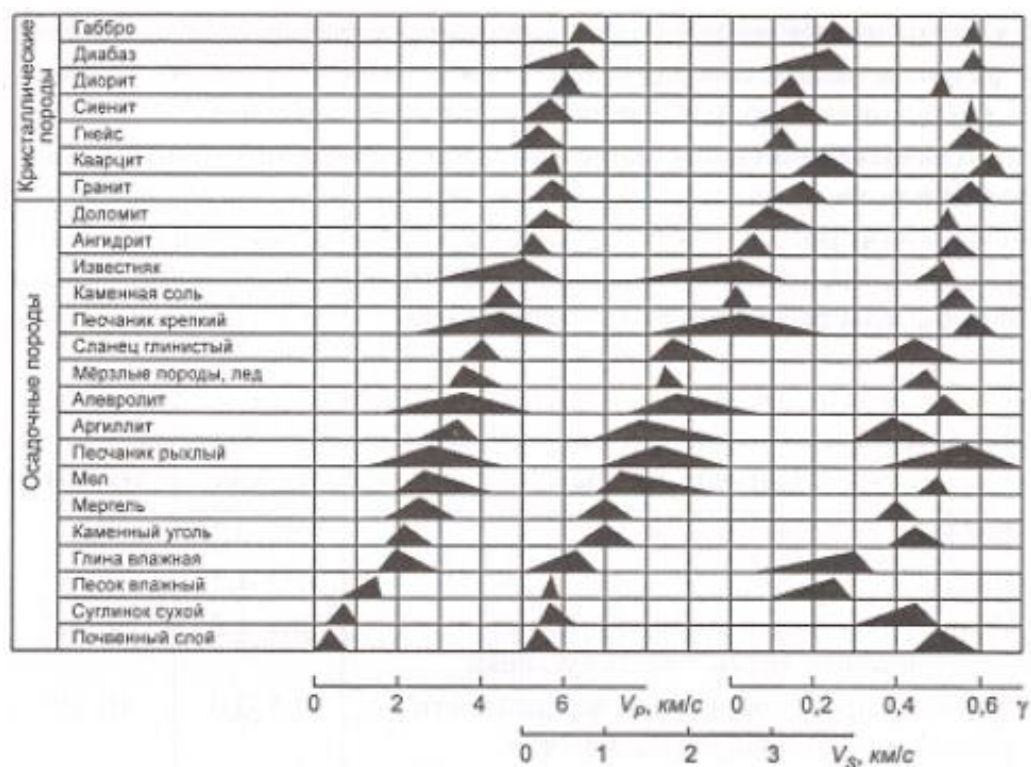


Рис. 38. Распределение скоростей  $V_p$  и  $V_s$  и их отношения  $\gamma = V_p/V_s$  для наиболее распространенных горных пород (по Романову В.В., 2015).

В целом для осадочных пород характерно увеличение скорости с глубиной по мере роста горного давления и уменьшения пористости. Возрастание скорости с глубиной лучше всего выражено в терригенных породах. Зоны тектонических нарушений также могут характеризоваться понижением скоростей сейсмических волн (Т.Б. Соколова, А.А.Булычев, И.В. Лыги и др., 2011).

В результате сейсмотомографической обработки полученных данных были построены скоростные разрезы (приложения № 4-8), на которых кровля скальных грунтов уверенно выделяется значениями скорости 4 км/с и выше, что соответствует трещиноватым гранитам. Ниже, значения скорости продольных волн возрастает до 5.5-6 км/с отвечая менее выветрелым и соответственно более высокоскоростным скальным породам.

Также на нескольких интервалах сейсмических профилей 1с, 3с, 4с и 5с выделяются локальные понижения значений скорости, которые могут быть соотнесены с зонами повышенной трещиноватости пород или локальными разрывными нарушениями (рис. 39).



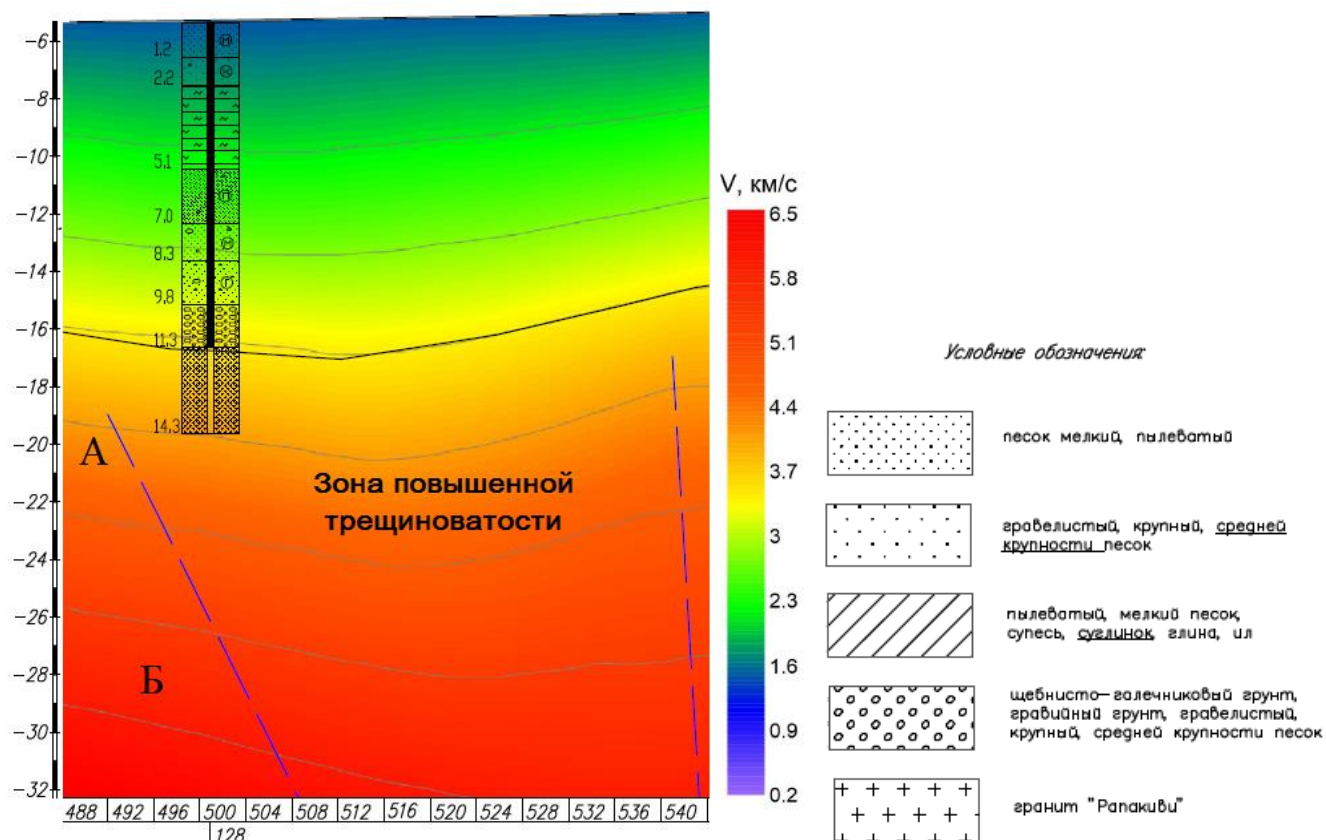


Рис.39. Фрагмент скоростного разреза 1с. Синей штриховкой отмечена зона повышенной трещиноватости пород или разрывных нарушений. А – область, соответствующая выветрелым гранитам, Б – область, соответствующая нормальным гранитам.

В целом, можно видеть, что глубина залегания гранитного основания сильно варьирует в пределах изучаемой территории. Наблюдаются резкие изменения глубины скальных грунтов с перепадами до десяти метров, вероятно связанные с тектоническими перемещениями пород.

Сопоставляя полученные разрезы с данными бурения, можно наблюдать хорошую корреляцию практически во всех общих точках. Небольшие расхождения в глубинах скальных грунтов связаны чаще всего с разной степенью разрушенности скальных пород, а также с невозможностью пройти линией наблюдения точно над скважиной.

Для расчленения верхней части разреза были проведены электроразведочные работы методом электротомографии. При интерпретации электроразведочных данных основной задачей являлось установление связи электрических свойств горных пород с особенностями геологического строения или инженерно-геологическими параметрами

разреза. Основным используемым геоэлектрическим параметром является удельное электрическое сопротивление (УЭС).

УЭС характеризует способность пород оказывать электрическое сопротивление прохождению тока. Значения удельного электрического сопротивления минералов меняется от  $10^{12}$  -  $10^{15}$  Ом·м у диэлектриков (кварц, слюда, полевые шпаты и др.),  $10^4$  –  $10^8$  Ом·м полупроводников (карбонатов, сульфатов, галоидов) до 1 Ом·м и менее у минералов с электронной проводимостью (самородные металлы, некоторые окислы).

Для наиболее распространенных горных пород удельное электрическое сопротивление зависит не столько от минерального состава, сколько от физико-механических свойств: пористости, трещиноватости, влажности и концентрации солей в подземных водах. Электрический ток обычно распространяется по насыщенному растворами поровому пространству, и поэтому электрическое сопротивление минеральных зерен определяющего значения не имеет. Исключения - сплошные или прожилковые руды электропроводящих минералов (сульфидов, графита, антрацита). К второстепенным факторам, влияющим на сопротивление пород, относится температура (при нагревании на 40 °C сопротивление уменьшается примерно в 2 раза), степень метаморфизма, структура и текстура пород (анизотропия, сланцеватость), мерзлотные свойства. В целом сопротивление пород может меняться в очень широких пределах: от  $10^{-3}$  до  $10^{15}$  Ом·м.

Изверженные и метаморфические породы характеризуются высокими сопротивлениями (от 500 до 10000 Ом·м). Среди осадочных пород высокие сопротивления (100-1000 Ом·м) у каменной соли, гипсов, известняков и песчаников. Сопротивление осадочных обломочных пород тем больше, чем больше размер зерен, составляющих породу.

Так же удельное электрическое сопротивление сильно зависит от минерализации воды в поровом пространстве, оно меняется от долей Ом·м при высокой минерализации до 1000 Ом·м при низкой минерализации (Т.Б. Соколова, А.А.Булычев, И.В. Лыги и др., 2011).

Важная особенность удельного электрического сопротивления - зависимость от структуры, пористости, влажности приводит к тому, что многие породы характеризуются очень широким интервалом изменения значений. Это говорит о необходимости изучения исследуемого участка не только методом электроразведки, а всем комплексом представленных методов.

По данным электротомографии построены сводные геоэлектрические разрезы (приложение 4, 5, 7). Характер поведения значений удельного электрического



сопротивления (УЭС) на разрезах объясняется рядом ключевых факторов: степенью водонасыщенности, объемным содержанием глинистых частиц, размером зерен преобладающей фракции и наличием органического вещества в грунте.

Фрагмент типичного разреза УЭС с элементами интерпретации представлен на рис. 40. Наиболее низкими значениями УЭС (3-15 Ом·м) обладают пески придонного залегания, насыщенные морской водой высокой минерализации, глины, илы и суглинки. Мелкие и пылеватые пески, супеси и суглинки с переслаиванием песка характеризуются диапазоном значений 10-40 Ом·м. Повышенные значения сопротивления отвечают пескам средней крупности, крупным, гравелистым и крупнозернистым грунтам в зависимости от окатанности их граней (30-800 Ом·м). Наиболее высокие значения отвечают гранитам «рапакиви», залегающим в основании разреза. В зависимости от трещиноватости УЭС гранитов варьирует от 500 до 10000 Ом·м.

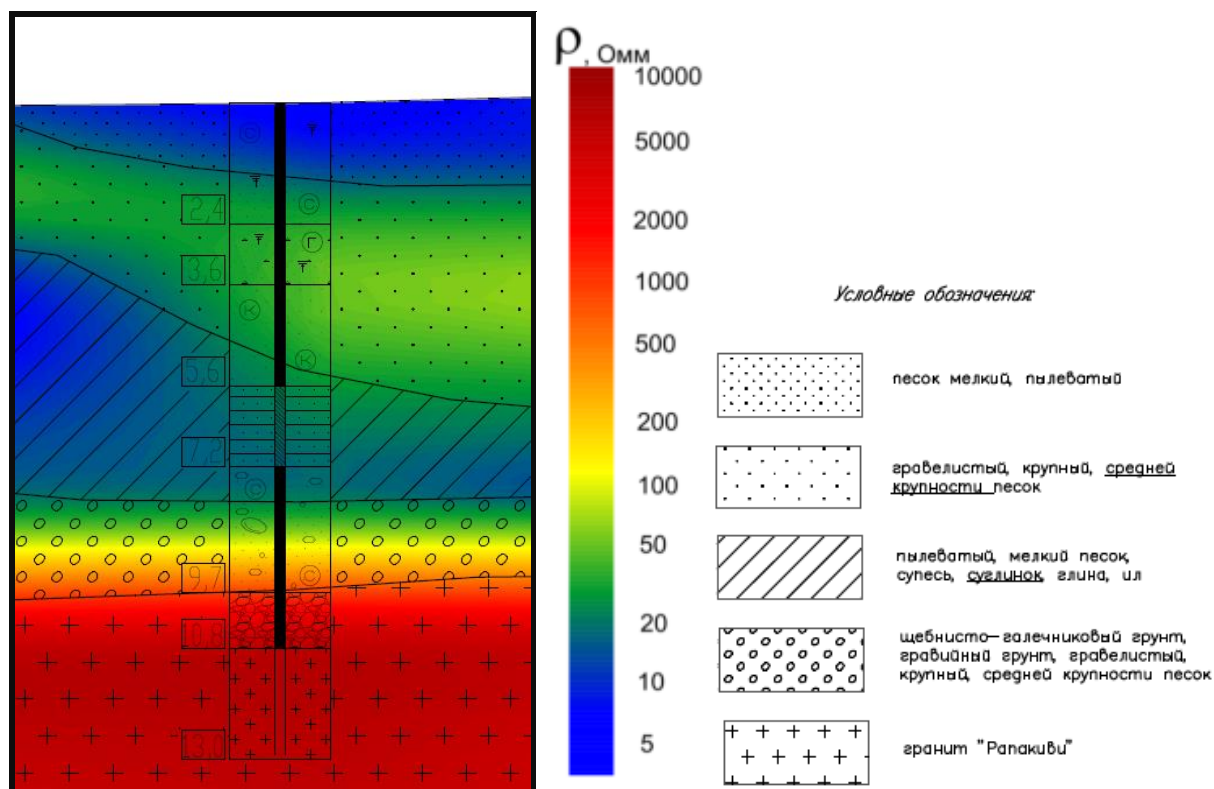


Рис. 40. Фрагмент геоэлектрического разреза в районе скважины № 113.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В целом, можно заключить, что обозначенные в начале работы задачи решены. В результате обработки полученных материалов сейсморазведки и электроразведки построены геолого-геофизические разрезы, на которых выделены литологические границы, коррелирующие с данными бурения. А по материалам магниторазведки построены карты аномального магнитного поля, на которых обнаружены техногенные объекты, которые могут вызвать трудности при строительстве портовых сооружений.

В ходе бакалаврской работы была изучена физико-географическая и геологическая ситуация в районе проведения работ, освоены методики проведения полевых геофизических методов, таких как: электроразведка, сейсморазведка и магниторазведка и изучены аппаратурно-методические комплексы и различные программы для обработки и интерпретации геофизических данных (XTomo-LM 2.1, ZondST2D, ZondRes2D, ZondProtocol, Mag-GPS)

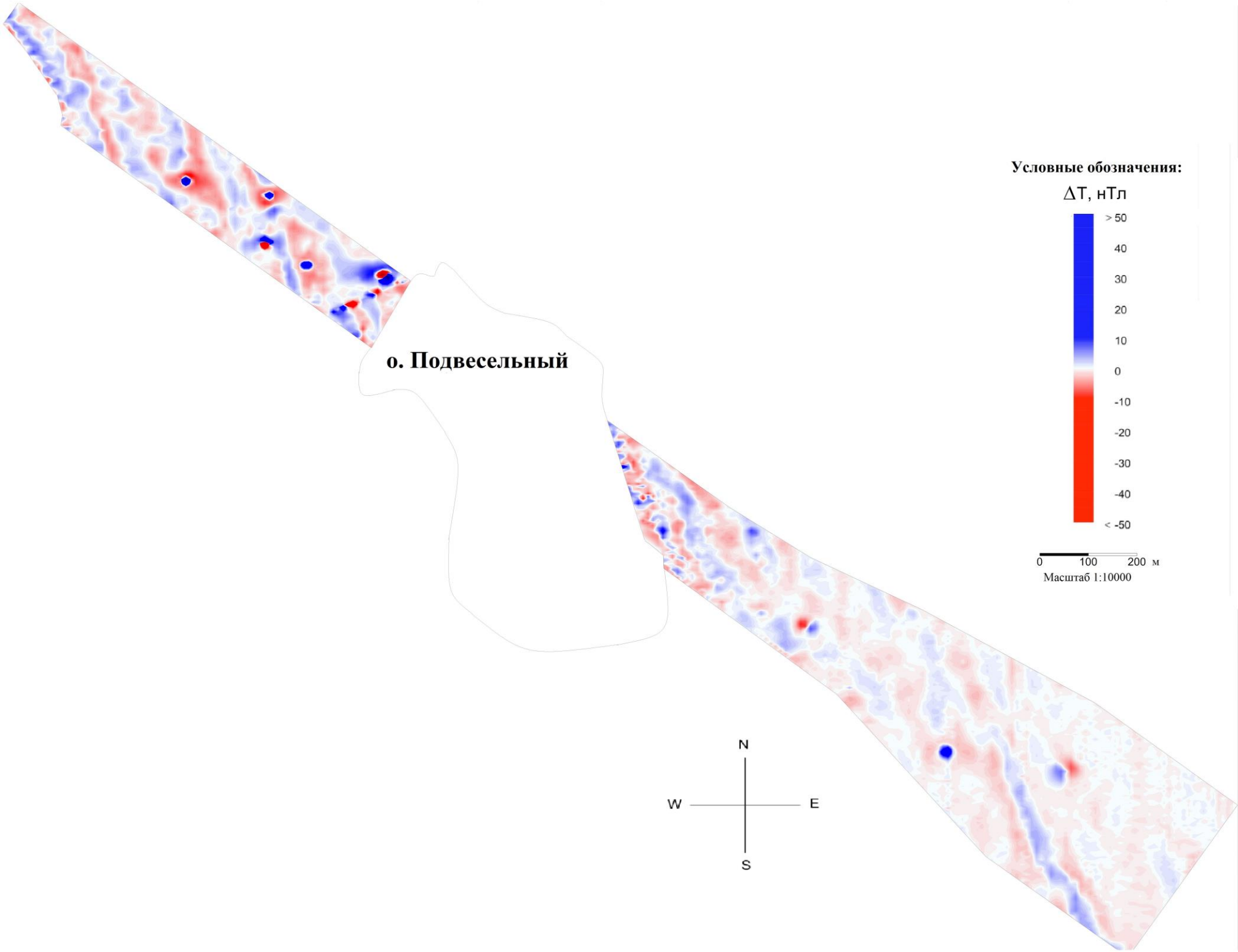
Автор выражает благодарность компании ООО «ГеофизПоиск» за предоставленные материалы, а также ее сотрудником за помощь в обработке и анализе полученных материалов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Афанасов М.Н. Отчет о проведении работ на объекте: ГДП, ГГД-ЭРИК-200 и ГСШ-200 Карельского перешейка и западной части акватории Ладожского озера. - Санкт-Петербург : 2002. - 98 с.
2. Великославинский Д.А., Биркис А.П., Богатиков О.А. и др. Анортозит-Рапакивигранитная формация Восточно-Европейской платформы. - Ленинград : Наука, 1978. - 296 с.
3. Вербицкий В.Р., Вербицкий И.В., Васильева О.В., и др. Объяснительная записка к листу О-35 (Псков), N-35, 0-36 - Санкт-Петербург. - Санкт-Петербург : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2012. - 545 с.
4. Гарбар Д.И. Кабаков Л.Г. Ладожско-Ботническая зона (геодинамика и металлогенический прогноз). - Москва : Комитет РФ по ГиИН АО "Геоинформмарк", 1994. - 34 с.
5. Малаховский Д.Б., Марков К.К. Геоморфология и четвертичные отложения северо-запада Европейской части СССР. - Ленинград : Недра, 1969. - 256 с.
6. Петров О.В., Красный Л.И., Морозов А.Ф. Геология и полезные ископаемые России. - Санкт-Петербург : Издательство ВСЕГЕИ, 2006. - Т. 1, 390 с.
7. Романов В.В. Инженерная сейсморазведка. - Москва : ЕАГЕ Геомодель, 2015. - 273 с.
8. Сидоренко А.В., и др. Приложение к тому "Геология СССР" Ленинградская, Псковская и Новгородские области. - Москва : Недра, 1971. - 14 с.
9. Соколова Т.Б., Булычев А.А., Лыги, И.В. и др. Интерпритация геофизических данных. - Тверь : ГЕРС, 2011. - 208 с.
10. Яновский А.С., Громыко Г.И., и др. Государственная геологическая карта СССР масштаба 1:200000. Серия Карельская. Листы : Р-35-XXXV (Приморск). - Москва : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 1986. - 116 с.
11. [www.vsegei.com](http://www.vsegei.com)
12. <http://www.morproekt.ru>
13. [geoecology.neth](http://geoecology.neth)

ПРИЛОЖЕНИЯ

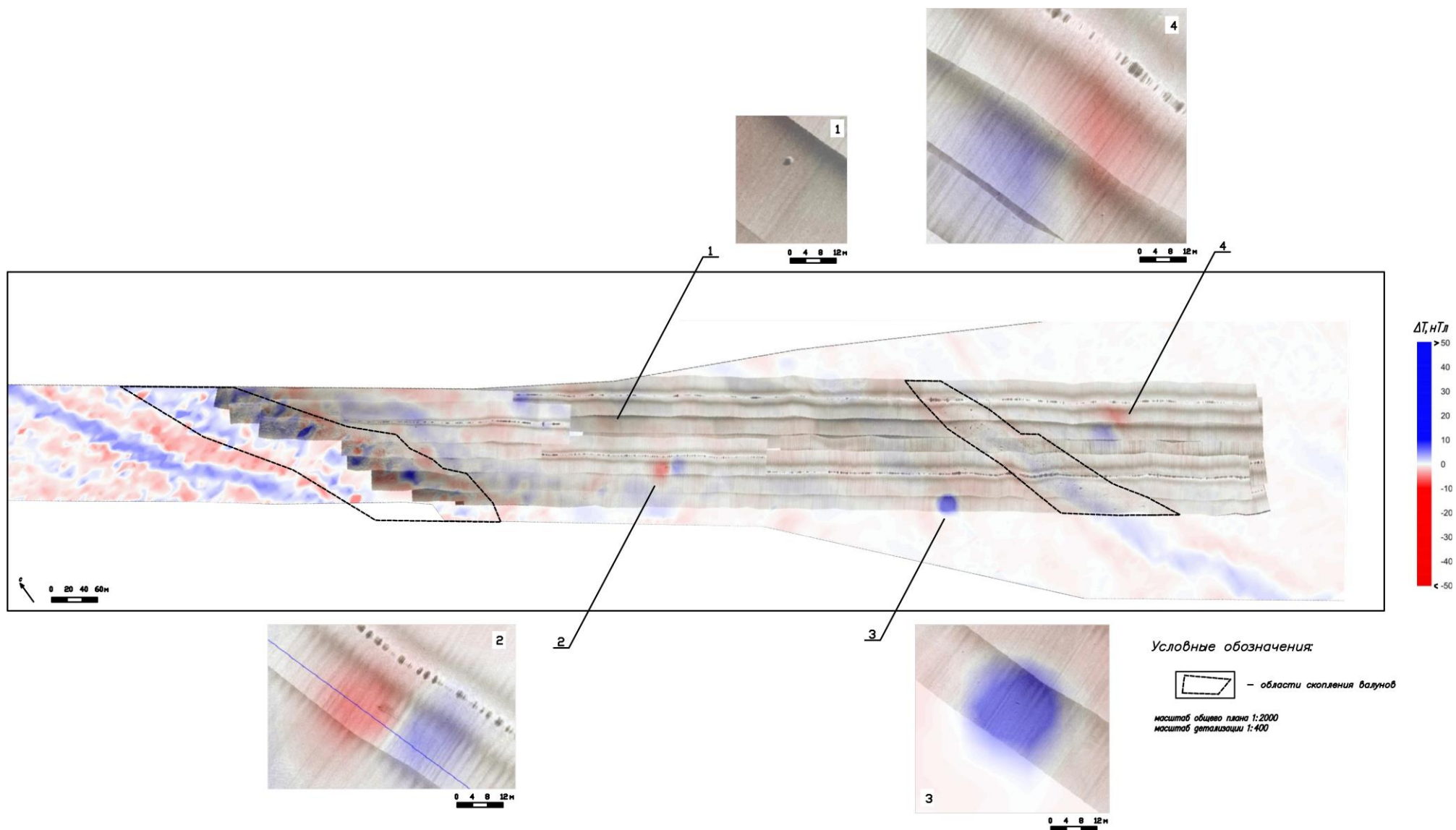
Приложение № 1. Карта аномального магнитного поля участка работ (бухта Дальняя).





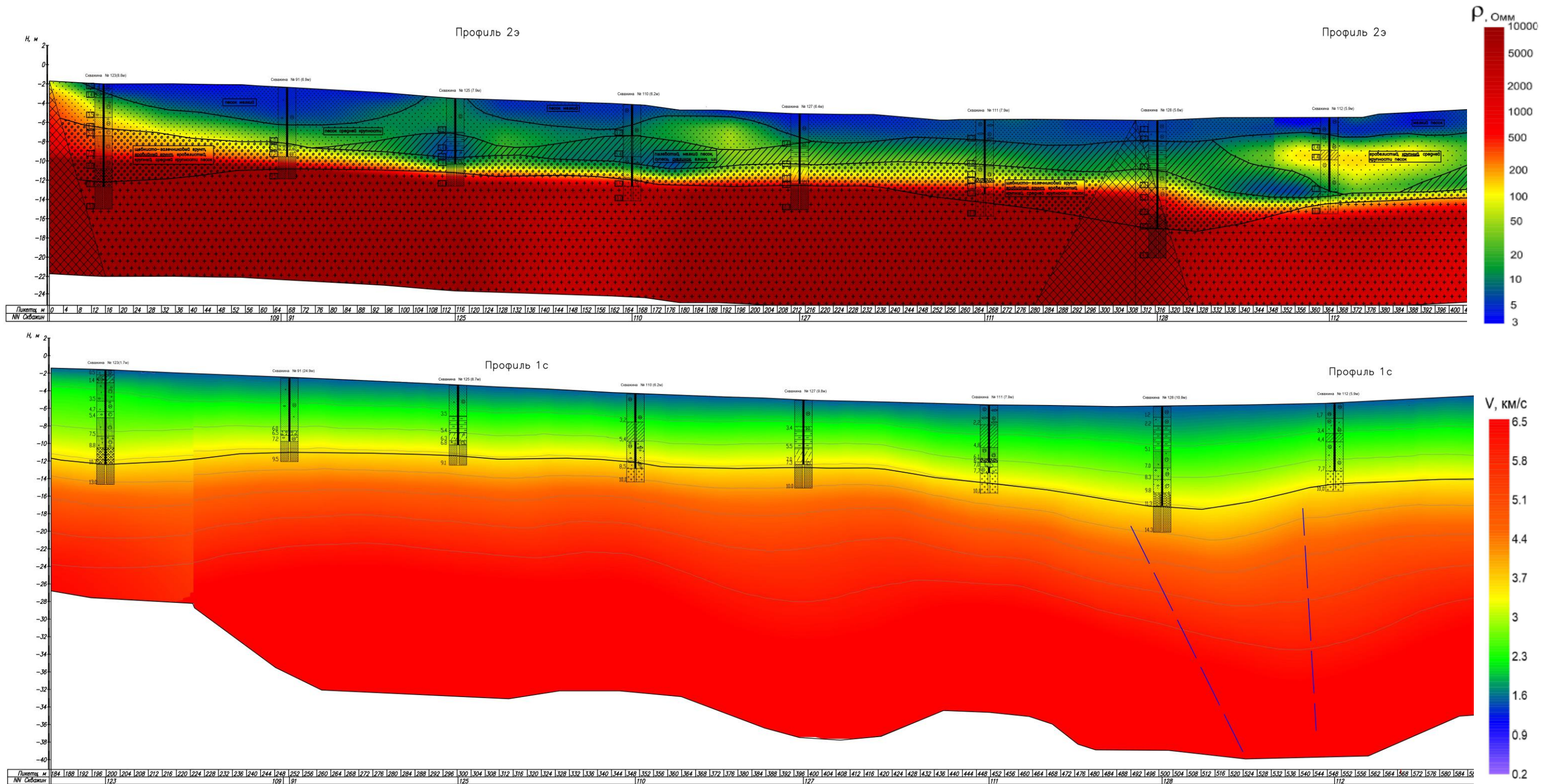


**Приложение № 3. Карта аномального магнитного поля с подложкой данных гидролокации бокового обзора,  
юго-восточная часть района работ (бухта Дальняя).**

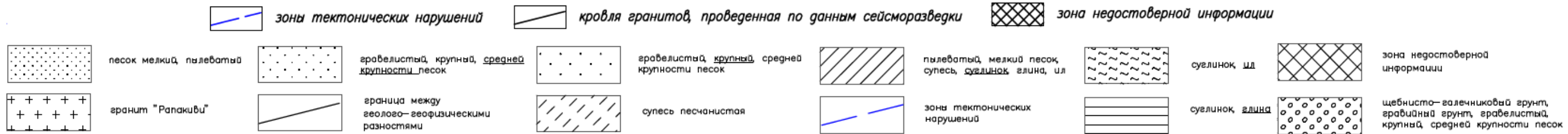




**Приложение № 4. Скоростной и геоэлектрический разрезы по профилям 1с и 1э соответственно, северо-западная часть района работ (бухта Дальняя).**

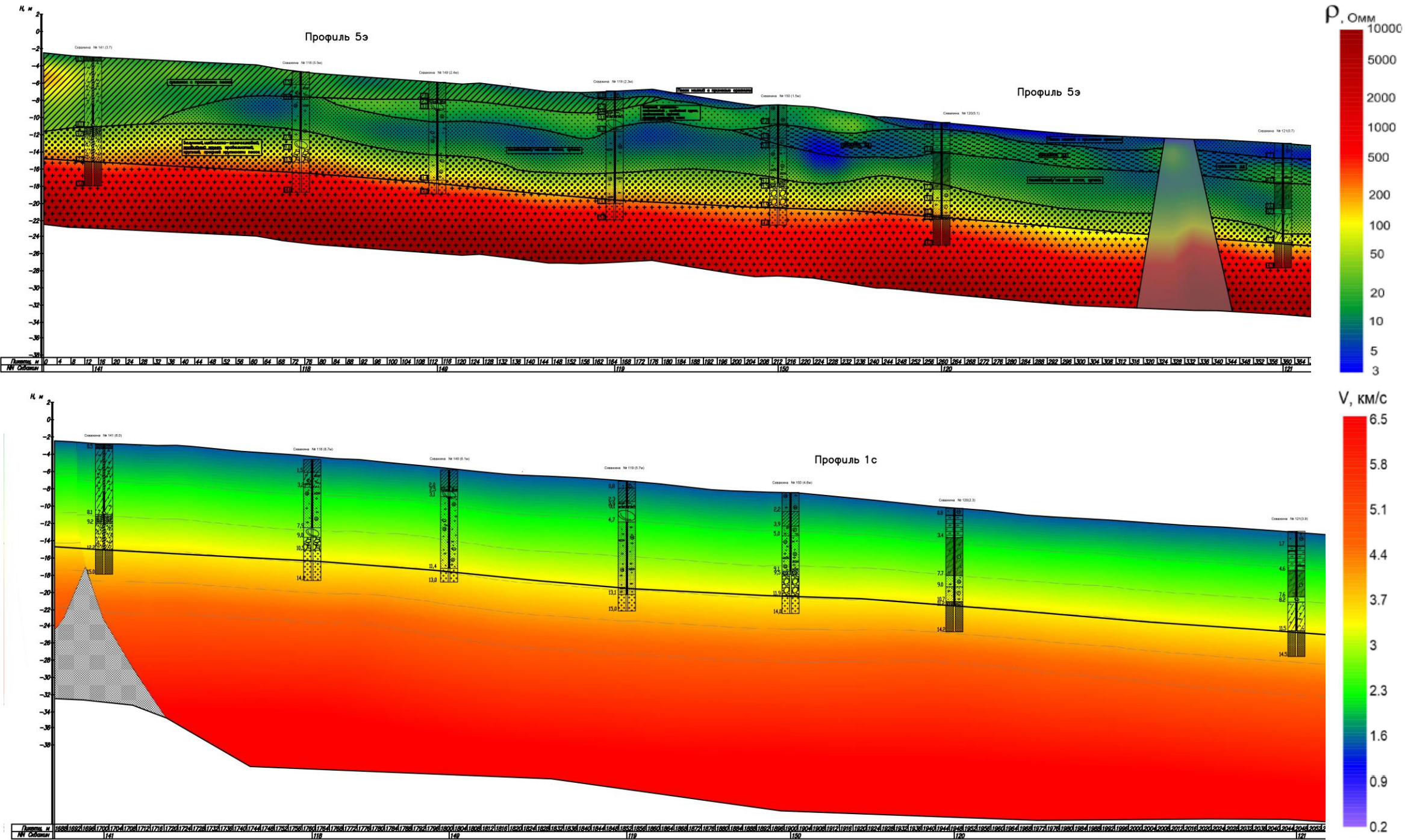


*Условные обозначения*

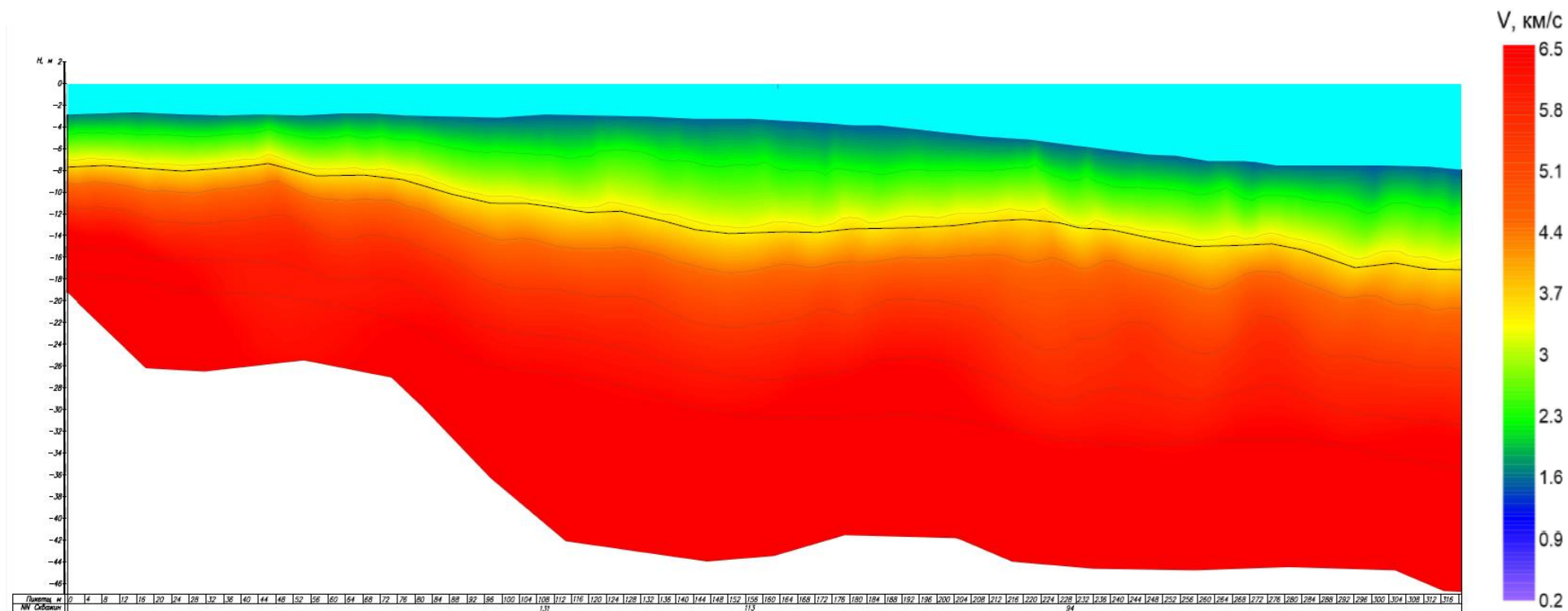




Приложение № 5. Скоростной и геоэлектрический разрезы по профилям 1с и 5э соответственно, юго-восточная часть района работ (бухта Дальняя).

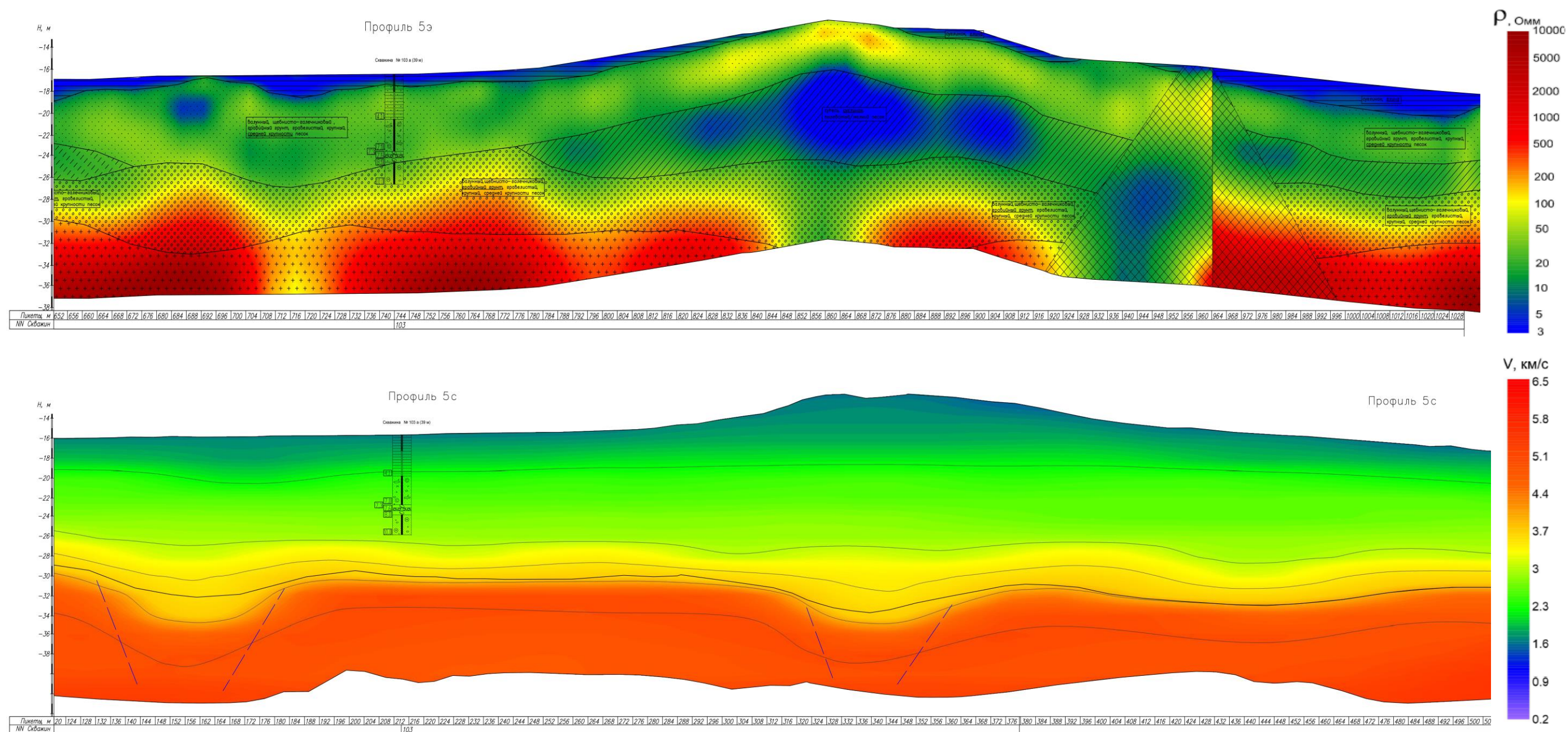


Приложение № 6. Скоростной разрез по профилю 2с, северо-западная часть района работ (бухта Дальняя).

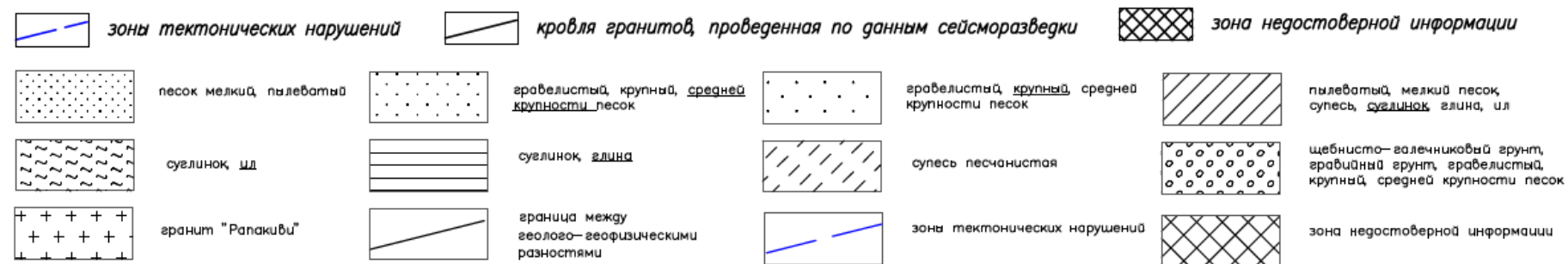




**Приложение № 7. Скоростной и геоэлектрический разрезы по профилям 5с и 5э соответственно, юго-восточная часть района работ (бухта Дальняя).**



*Условные обозначения*





Приложение № 8. Скоростной разрез по профилю 4с, северо-западная часть района работ (бухта Дальняя).

